



UNIVERSIDADE DOS AÇORES

**ELEMENTOS PARA O DESENHO DE ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM E
MOVIMENTAÇÃO DE GPL: UMA ABORDAGEM SOB O PONTO DE VISTA ATEX**

Manuel Francisco Tavares Sousa

**Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Ambiente, Saúde e Segurança**

**Orientadores: Doutor Jorge José Gomes Martins
Doutora Regina Maria P. T. T. Cunha**

**PONTA DELGADA
2007**

RESUMO

A armazenagem e manuseamento de substâncias perigosas, designadamente gases de petróleo liquefeito, impõem um elevado rigor e a adopção de práticas que permitam que as várias actividades se desenvolvam de forma a atingir os padrões de qualidade pretendidos, ao mesmo tempo garantam a segurança de pessoas, equipamentos e infra-estruturas, no integral respeito pelo meio envolvente.

O trabalho desenvolvido pela Comunidade Europeia, com vista a harmonizar as várias perspectivas existentes, na área das atmosferas potencialmente explosivas (ATEX), traduz-se actualmente num quadro legislativo que contempla duas vertentes: os requisitos dos equipamentos instalados e em funcionamento nesses espaços, e a protecção da segurança e saúde dos trabalhadores susceptíveis à exposição a riscos associados a atmosferas explosivas.

Neste âmbito, às entidades que desenvolvem a sua actividade em ambientes ATEX, impõe-se uma análise das soluções existentes e dos respectivos sistemas de controlo, não apenas como forma de resposta à legislação, mas sobretudo como ferramentas de gestão dos riscos associados à operação nesse tipo de atmosferas.

O presente trabalho, desenvolvido como tese de dissertação no âmbito do Mestrado em Ambiente, Saúde e Segurança, ministrado pela Universidade dos Açores, visou a área da armazenagem e movimentação de Gases de Petróleo Liquefeito, teve por base um Parque de GPL concreto (Parque de GPL da Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás) e pretendeu desenvolver uma metodologia para classificação das zonas com atmosferas explosivas e determinação da sua extensão, tendo como base o equipamento instalado nessas zonas, os parâmetros reais de funcionamento, as restrições do espaço envolvente e as variáveis ambientais.

A percepção da relação e influência dos diversos factores envolvidos na libertação de uma substância, que originará uma atmosfera explosiva, permitiu identificar vários aspectos a considerar em estruturas de armazenagem e movimentação de GPL e cuja adopção se revela importante, desde a fase de projecto e desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL.

A selecção da amostra dos equipamentos para análise, recaiu sobre os elementos mais representativos, que pela sua importância e quantidade são os mais utilizados, nos vários sistemas que constituem um Parque de GPL. Outra preocupação que esteve presente ao longo do trabalho, foi a reprodução com um grau de rigor elevado, das condições de funcionamento de cada equipamento em particular, e da caracterização do espaço ambiental envolvente, uma vez que estes factores contribuem grandemente para a compreensão dos fenómenos de dispersão de nuvens potencialmente explosivas, geradas por um ponto de fuga, ou de libertação de produto.

Como principais resultados, realçamos a noção de zonagem dinâmica, isto é, adaptada às condições reais de funcionamento, que caso se alterem significativamente, deverão ser alvo de redefinição.

Ao longo do presente trabalho, tentamos transmitir, tanto quanto possível, a noção dimensional dos valores produzidos, através da transposição para diagramas e esquemas de cada equipamento numa primeira fase, e para um conjunto mais alargado *à posteriori*, permitindo em simultâneo uma visualização mais próxima da realidade.

O programa informático *Zonas*, desenvolvido na fase de análise das equações seleccionadas para traduzir os fenómenos de dispersão das libertações de GPL, e inicialmente apenas como auxiliar de cálculo e iteração, permitindo perceber o modo como cada variável, ou entrada, influencia o resultado final, acabou por fazer parte dos resultados como uma ferramenta que poderá vir a ser utilizada na prática, e integrada, como auxiliar, nos estudos de análise de risco, já que a sua utilidade e consistência parece-nos ter ficado demonstrada nos cenários testados.

ABSTRACT

When dealing with storage and handling of hazardous substances, like liquefied petroleum gases, a high level of accuracy is required. You need also, a set of procedures to guarantee you achieve the highest quality standards, during all the activities involved. At the same time, safety of operators, machinery and structures, together with straight respect of the environment is mandatory.

The work carried out by the European Community tended to achieve a common perspective on the potential explosive atmospheres (ATEX). As a result a legislative basis covering two main approaches was made. One of them was related to equipment requirements, when installed and working on explosive atmosphere areas. The other approach, was related with safety and health of workers, operating on areas subject to such atmospheres and the associated risks.

Such scenario, transfers to the companies that develop their activities in ATEX environments, the responsibility to analyse the appropriate solutions and the adequate control systems. Those solutions will respond to the demands of the legislation but, and most important, intent to risk assessment on explosive atmospheres.

As part of the studies on a master's degree on Environment, Health and Security, by the University of Azores, this thesis was developed for the storage and handling of LP gases area. The main goal was to develop a zone classification methodology, based on explosive atmospheres principles, together with the equipment installed on those areas. The real working conditions, space and other structural restrictions as well as environmental conditions, were also taken in account. This work was developed according to a real scenario (Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás's LP gas plant).

We started by understanding the relationship between the several factors involved on a release of a substance that could become an explosive atmosphere. This allowed the identification of several aspects to consider on a LP Gas plant, which should be taken into account from the project of such structures.

A representative set of equipments was carefully chosen. Those equipments, were selected for their importance and usage on the systems installed on LP gas plants. Another main concern throughout the entire work was to follow, as straight as possible, the real working conditions and the environmental

characterization of the considered plant. Those items have a very important role on the explanation of the dispersion of potential explosive atmospheres.

As outputs of this work, we point out the need of a *dynamic zoning*, that is, adequate to the real space conditions and working parameters. That zone should be redefined when, and if, the initial scenario changes.

Throughout the present work, we've also tried to give the idea on the scale of the values that were presented. This was achieved in a series of drawings and diagrams from single components, to a wider group of the real structure.

During the analysis of the governing equations, that we've chose to model the behaviour of the dispersion of LP gas releases, we've developed the *Zonas* software. It permitted to help the several calculation and iterations involved. The other goal of this software was to evaluate the contribution of the several factors on the calculus process, but at the end, it became a part of this work's outputs. As it revealed to be a useful tool, we think a similar one should be included, as a phase, on the necessary risk assessment studies.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu agradecimento ao Doutor Jorge Martins e à Doutora Regina Cunha, pela disponibilidade e empenho que colocaram na orientação desta tese. Agradeço em particular, os conhecimentos, maturidade e experiência que me transmitiram.

Agradeço também à Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, entidade onde desenvolvo a minha actividade profissional, e em particular ao seu administrador-delegado, Eng.º Aníbal Raposo, a oportunidade e abertura para a realização deste trabalho, num tema que se revela importante para aquela organização.

À minha esposa Sílvia, e ao meu filho João Miguel, pela força que sempre me transmitiram, pela compreensão e paciência, pelas palavras e pelos silêncios, com que souberam expressar o seu apoio ao longo deste trajecto. Muito obrigado.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Gases de Petróleo Liquefeito	8
1.2. Estruturas de armazenagem e movimentação de GPL	11
1.3. ATEX – atmosferas explosivas	14
1.4. Objectivos	18
1.5. Metodologia	19
2. GPL – CONCEITOS E EVOLUÇÃO	20
2.1. Enquadramento global	20
2.2. Os GPL em Portugal	28
2.3. O caso particular do Arquipélago dos Açores	30
2.4. GPL – Caracterização e aspectos técnicos	36
2.4.1. Química dos GPL	36
2.4.2. Física dos GPL	40
2.5. Armazenagem e movimentação de GPL	41
2.5.1. Armazenagem de GPL	41
2.5.2. Movimentação de GPL	45
2.6. Referências normativas na área das atmosferas explosivas	52
3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO	54
3.1. Caracterização da amostra	54
3.1.1. Envolvente física	54
3.1.2. Condições geológicas	55
3.1.3. Características climáticas	56
3.1.4. Selecção dos equipamentos	57
3.2. Selecção do método	58
3.3. Definição de equações e constrangimentos	60
3.3.1. Caracterização da libertação	06
3.3.2. Equações para a modelação	67
3.3.3. Estimação das dimensões dos pontos de fuga	70
3.4. Efeito da ventilação	74

3.5. Zonagem ATEX	76
3.6. <i>Software Zonas</i> – introdução do modelo	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1. Simulações	81
4.2. Identificação das áreas potencialmente explosivas / Desenho das zonas ATEX	111
4.2.1. Zonagens parciais	111
4.2.2. Zonagem da bombagem de GPL – situação de operação normal	120
4.2.3. Zonagem da bombagem de GPL – situação de manutenção preventiva ao filtro	131
5. CONCLUSÕES	143
REFERÊNCIAS	147
ANEXOS	153

1. INTRODUÇÃO

1.1. GASES DE PETRÓLEO LIQUEFEITO

Como “Gases de Petróleo Liquefeito”, cuja abreviatura comum é GPL, designam-se os hidrocarbonetos que em condições normais de pressão e temperatura, encontram-se sob o estado gasoso, mas que se podem liquefazer pela aplicação de uma pressão moderada e/ou refrigeração.

O processo de liquefacção é sempre acompanhado por uma redução considerável do volume ocupado, o que representa uma vantagem sob o ponto de vista do espaço necessário para a armazenagem. Por este motivo, este produto é normalmente armazenado e transportado em fase líquida, em contentores pressurizados, passando à fase gasosa perto ou já no ponto do seu eventual consumo.

Os gases de petróleo liquefeito podem ser obtidos a partir de duas fontes genéricas:

- Directamente dos campos de exploração de petróleo ou de gás, onde são removidos como produtos condensáveis do gás natural, e/ou retirados do óleo de crude, durante o processo de estabilização, para a redução da tensão de vapor, antes do transporte em navios;

- Nas refinarias, durante o processamento do crude. O GPL é produzido em muitas das actividades de refinação, sendo a sua qualidade e constituição determinados essencialmente pelo processo de produção, tipo de crude ou rama em utilização.

Em termos quantitativos, cerca de 30% do GPL tem como origem a extracção e refinação do crude, e os outros 70% do gás natural.

A refinação do crude consiste, genericamente, em promover o seu aquecimento, até que entre em ebulição. A partir dessa fase vários hidrocarbonetos gasosos são produzidos, onde se incluem o propano e o butano. Estes gases são capturados sob pressão e ligeiramente arrefecidos. De acordo com os vários pontos de ebulição, à medida que a temperatura desce e esses pontos se vão atingindo, dá-se a condensação de cada gás, e a respectiva armazenagem em estado líquido, sob pressão. A Figura 1.1 mostra um esquema onde se referenciam as várias unidades que constituem uma refinaria de petróleo (UKpia, 2007).

A extração de GPL do gás natural faz-se por vários processos, nomeadamente a partir de bolsas de gás, sob a designação de *wet gas*, termo que evidencia a existência de uma mistura de gases de hidrocarbonetos e em alguns casos de líquido. Uma vez extraídos, os diferentes gases e líquidos são separados, processados e refinados.

1.2. ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM E MOVIMENTAÇÃO DE GPL

A Armazenagem

Os gases de petróleo liquefeito, à pressão e temperatura normais, evaporam, por esta razão a armazenagem destes produtos é feita no estado líquido (verificaremos com mais pormenor esta questão quando abordarmos os aspectos técnicos do GPL, no capítulo 2 deste trabalho). De forma a proceder à sua armazenagem, podem ser consideradas duas formas, para promover essa passagem dos GPL para o estado líquido: por arrefecimento e por pressurização. A forma comumente utilizada para a armazenagem de butano e propano, é a pressurização, que genericamente, consiste em submetê-los a pressões superiores à sua pressão de vapor (valor a partir do qual o GPL passa ao estado líquido).

Conforme podemos verificar na Figura 1.2., ao longo de toda a cadeia, desde a produção até ao consumo, os GPL são armazenados: de forma temporária, como reservas; em cisternas, para o respectivo transporte; ou ainda quando depositados em vasilhames ou “embalagens” para consumo final.

Em todos estes casos, os reservatórios de armazenagem respeitam determinadas normas que garantem a segurança do produto, estruturas e operadores/utilizadores. Dos parâmetros a controlar na armazenagem destacam-se, pela sua importância, o nível de enchimento e a pressão. O primeiro, como garantia de que não se preenche a totalidade do volume do reservatório, impossibilitando a sua expansão térmica. A título de exemplo refira-se a quantidade de GPL que é colocado nas garrafas de uso doméstico: estes reservatórios têm uma capacidade útil de 28 litros, no entanto apenas são cheias até 80% do seu volume total, o que resulta num enchimento de 13 kg, para o caso do butano e de 11kg, para o caso do propano. O controlo da pressão de armazenagem é importante, para que se possa garantir que não se atingem valores próximos da pressão máxima admissível pelo reservatório. Este valor é calculado aquando do projecto do reservatório e está relacionado com a pressão de rotura do material usado na construção desses equipamentos.

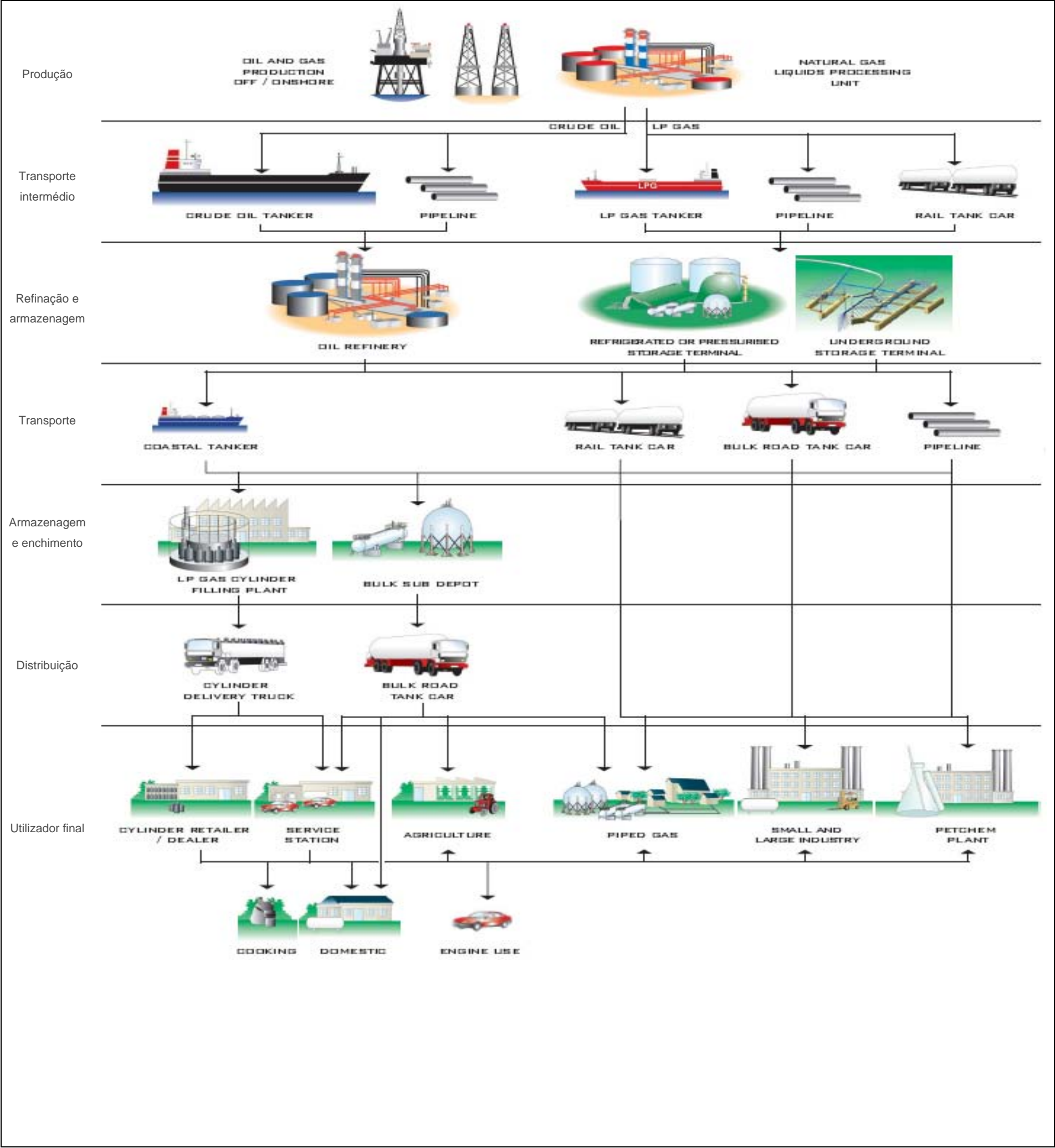


Figura 1.2. Esquema das várias etapas da armazenagem e transporte dos gases de petróleo liquefeito (World LP Gas Association, 2006).

Nos parques de armazenagem e enchimento de GPL, cenário deste trabalho, os reservatórios de armazenagem apresentam capacidades superiores a 200 m³. A sua geometria pode ser em forma esférica ou cilíndrica horizontal (designados na gíria como *charutos*), podendo ser implantados superficialmente ou semi-enterrados. Uma e outra solução apresentam vantagens e inconvenientes, mas recentemente a opção para as novas armazenagens tem recaído sobre os reservatórios semi-enterrados (*mounded vessels*), uma vez que esta solução permite a redução das distâncias de segurança, em relação à instalação de outras estruturas, equipamentos, zonas de circulação e limites de propriedade. A este respeito refira-se que, em 2000, a *Engineering Equipment and Materials Users Association*, publicou o “Guide for design, construction and use of mounded horizontal cylindrical vessels for pressurised storage of LPG at ambient temperatures”, onde são fornecidas directrizes para o projecto, construção e utilização de reservatórios *semi-enterrados*, englobando as fases de selecção e pesquisa dos solos para implantação, fundações, aspectos associados à construção, instrumentação e equipamentos, protecção anti-corrosiva, inspecções e manutenção.

Na Figura 1.3. apresenta-se um exemplo de uma zona de armazenagem de GPL, onde estão implantados reservatórios com configuração esférica, aéreos ou superficiais.



Figura 1.3. Parque de armazenagem com reservatórios esféricos (Parque de GPL da Nordela, em Ponta Delgada Ilha de S. Miguel. Propriedade da SAAGA - Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, S. A.).

A Movimentação

Nos parques de GPL, são realizadas várias operações de transferência e movimentação de produto, nomeadamente dos reservatórios de armazenagem para as zonas de enchimento de garrafas, e de carga

de carros-cisterna, ou entre reservatórios de armazenagem. Tais operações são realizadas com o produto na sua fase líquida, mas também podem exigir a movimentação na fase gasosa.

Para a movimentação são utilizadas bombas ou compressores, de acordo com o estado físico em que os gases de petróleo liquefeito se encontram, fase líquida ou fase gasosa, respectivamente. O cálculo da capacidade e potência destes meios de impulsão, é determinado pelo valor de caudal necessário e pressões admissíveis, para a movimentação pretendida, seja o enchimento de garrafas, a trasfega de produto entre reservatórios ou ainda a carga de veículos cisterna.

Nas operações de trasfega são também utilizados outros equipamentos, como válvulas de seccionamento ou corte, de excesso de débito, anti-retorno, ou de alívio de pressão. Esses equipamentos designados genericamente como órgãos de comando, permitem que se efectuem manobras, no sentido de encaminhar o produto, obrigando-o a executar o circuito adequado à movimentação que se pretende. As válvulas podem ser instaladas nas tubagens de entrada e/ou saída dos reservatórios, na zona de bombagem e compressão ou ainda nos acessos aos enchimentos de garrafas e cisternas.

Ao longo do traçado da rede de tubagens, existe instalada, em pontos estratégicos, instrumentação que permite monitorizar os valores que caracterizam determinada manobra, por exemplo a pressão à saída de uma bomba, ou dar indicação sobre a eficácia de determinado órgão de comando.

1.3. ATEX – ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

Formação

O termo ATEX, tem como origem as palavras ATmosfera EXplosiva, e segundo a definição adoptada na normalização, designa uma “mistura com o ar em condições atmosféricas de substâncias inflamáveis, sob a forma de gases; névoas ou poeiras, na qual, após ignição, a combustão se propaga a toda a mistura não queimada” (Decreto-Lei n.º 236/2003, de 30 de Setembro. Art. 3º, n.º 1, a)). É assim uma designação genérica, que se aplica a toda e qualquer mistura gasosa de combustível e ar, passível de provocar uma explosão. Por explosão, entende-se um acontecimento que provoca um súbito aumento de volume.



Figura 1.4. Esquema do triângulo do fogo.

Consideremos o triângulo do fogo, na sua representação mais simplificada, como o que se ilustra na Figura 1.4. Na perspectiva das atmosferas explosivas, e apenas para o caso dos gases, combustível e comburente já se encontram misturados, temos assim, uma situação que se designa de *pré-mistura*. (O outro processo de queima é o que resulta da propagação da chama por difusão. Neste caso combustível e comburente encontram-se separados, só entrando em contacto quando se adiciona a energia de activação. Um exemplo deste processo são os isqueiros).

Tomemos como analogia o que se passa nos motores de ignição comandada, neste caso o objectivo é, para determinadas condições de pressão e quantidade de oxigénio, criar uma mistura com determinadas proporções de combustível e comburente que, ao adicionar uma faísca (energia de activação), resulte numa explosão, que por sua vez provocará a expansão do volume da câmara, e a consequente deslocação do pistão.

A outra situação que não faremos referência neste trabalho, são as poeiras, que podem também constituir misturas explosivas. Neste caso, a propagação da queima, está directamente relacionada com a razão entre a superfície e o volume dos grãos de poeira, uma vez que a área exposta irá depender dessa razão.

Associado ao processo de queima por *pré-mistura*, cada combustível apresenta um comportamento em função da proporção de oxigénio disponível nessa mistura, que se designa por *domínio de inflamabilidade*, ou *domínio de explosividade*. Os valores extremos desse domínio designam-se por limites inferior (LII) e superior de inflamabilidade (LSI). Abaixo do limite inferior, a quantidade de combustível presente não é suficiente para que a chama se inicie ou propague – a mistura é demasiado pobre; acima do limite superior de inflamabilidade, existe demasiado combustível, o que também não permite a iniciação ou propagação de uma chama – a mistura é demasiado rica.

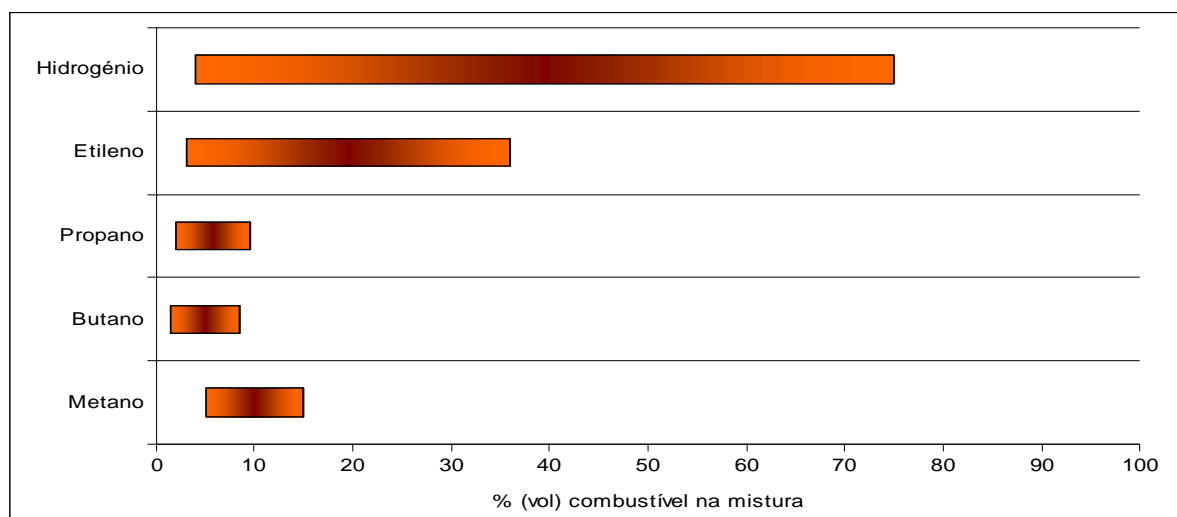


Figura 1.5. Domínios de Inflamabilidade para algumas substâncias (Liquid Gas Equipment, Ltd., 1984).

No gráfico da Figura 1.5. apresentam-se, para algumas substâncias, o respectivo intervalo de inflamabilidade. Este gráfico chama a atenção para a importância do conhecimento do valor da concentração de determinada substância na atmosfera, como factor determinante para a previsão de uma potencial inflamação, ou explosão, na presença de uma fonte de ignição. Os valores apresentados para os domínios de inflamabilidade, têm em consideração a proporção normal de oxigénio no ar (21%). Se fizermos variar a quantidade de oxigénio, vamos ter uma reacção diferente (quanto maior a quantidade de oxigénio, mais rápida a reacção), e consequentemente uma alteração dos limites inferior e superior de inflamabilidade. O mesmo acontece em condições de pressão diferentes da atmosférica, onde o comportamento será diferente do apresentado no gráfico anterior.

Para o butano, os valores dos limites inferior e superior de inflamabilidade são 1.9% e 8.5%, respectivamente, enquanto que para o propano estes valores são 2.3% e 9.5% (Liquid Gas Equipment, Ltd., 1984).

Legislação

Em 1976, a Comunidade Europeia, num esforço de harmonização da legislação existente sobre os requisitos para equipamentos dentro do espaço europeu, adopta a Directiva Quadro relativa ao equipamento eléctrico utilizado em atmosferas explosivas de superfície (76/117/CEE), que mais tarde viria a ser substituída pela Directiva 79/196/CEE (relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes ao material eléctrico utilizável em atmosfera explosiva que emprega certos tipos de protecção). Seis anos mais tarde, é adoptada outra Directiva Quadro, desta vez relativa a equipamento eléctrico utilizado em atmosferas potencialmente explosivas de minas com *grisu* (gás combustível,

constituído essencialmente por metano, monóxido de carbono e azoto, que existe nas minas de carvão) (82/130/CEE). Face à evolução positiva na protecção contra explosões, com as medidas ligadas ao fabrico do equipamento eléctrico utilizado em atmosferas potencialmente explosivas e “considerando que a natureza do perigo, as medidas de protecção e os métodos de ensaio são muitas vezes bastante semelhantes, ou mesmo idênticos, para os equipamentos de uma mina e de superfície; que, por conseguinte, é necessário abranger os aparelhos e sistemas de protecção dos dois grupos numa única directiva;” (Directiva 94/9/CE, de 23 de Março) em Março de 1994, são revogadas as directivas anteriores sobre estas matérias, e substituídas pela actual Directiva 94/9/CE, relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros sobre aparelhos e sistemas de protecção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, transcrita para a legislação portuguesa pelo Decreto-Lei n.º 112/96, de 05 de Agosto, e pela Portaria n.º 341/97, de 14 de Abril, que o regulamenta. Este documento legislativo, impõe regras relativas à concepção, fabrico e comercialização de equipamentos (eléctricos e não eléctricos) e sistemas de protecção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas, bem como a todos os sistemas e dispositivos que, embora “utilizados fora de atmosferas potencialmente explosivas, sejam necessários ou contribuam para o funcionamento seguro dos aparelhos e sistemas de protecção no que se refere aos riscos de explosão.” (Directiva 94/9/CE, de 23 de Março). É portanto um documento dirigido essencialmente aos fabricantes e aos intervenientes nas fases de projecto de instalações, estes últimos, na medida em que necessitam realizar desde logo a adequação dos equipamentos, sistemas de protecção e de controlo/comando, ao funcionamento em zonas potencialmente explosivas.

No entanto, os requisitos impostos pela Directiva 94/9/CE, que designaremos doravante como directiva ATEX, por si só não se revelam suficientes, para garantir os padrões de segurança pretendidos, já que, abordam os equipamentos, mas não a sua envolvente. O grau de segurança de determinado espaço, que contém aparelhos eléctricos e/ou mecânicos, e onde exista ou possa existir uma atmosfera explosiva, está também dependente da adequação das características desses aparelhos às condições específicas da atmosfera do espaço que os rodeia. Assim, ter-se-á que adequar os equipamentos ao tipo de espaço onde se encontram em funcionamento. Neste âmbito, surge a Directiva 1999/92/CE, de 16 de Dezembro, que estabelece as prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da protecção, da segurança e da saúde dos trabalhadores, susceptíveis à exposição a riscos associados às atmosferas explosivas. Esta Directiva foi transposta para a legislação Portuguesa pelo Decreto-Lei n.º 236/2003, de 30 de Setembro.

A mesma estabelece ainda, os princípios para uma classificação em zonas, nos locais onde se poderão formar atmosferas explosivas, e para a determinação de quais os grupos, categorias de aparelhos e sistemas de protecção, que devem ser utilizados em cada zona.

A Directiva 1999/92/CE, tem como alvo os *operadores* (entidades patronais), na medida em que os torna responsáveis pela adopção de medidas técnicas e/ou organizacionais, de modo a prevenir a formação de atmosferas explosivas, ou, caso a natureza da actividade não permita a prevenção, evitar a ignição dessas atmosferas e atenuar os efeitos prejudiciais de uma explosão.

No ponto 2.6, deste trabalho abordaremos mais em pormenor algumas das questões que consideramos mais relevantes sobre esta legislação.

1.4. OBJECTIVOS

O cenário legislativo que descrevemos, levanta certas preocupações em alguns sectores de actividade, nomeadamente, a necessidade de classificação de áreas com atmosferas potencialmente explosivas; a selecção de equipamentos; e a adopção de práticas operativas que evidenciem a resposta aos vários itens das directivas referidas.

Os requisitos sobre atmosferas explosivas, impõem uma análise das soluções existentes e dos respectivos sistemas de controlo, não apenas como forma de resposta à legislação, mas sobretudo como ferramentas de gestão dos riscos associados à operação nesse tipo de atmosferas.

Para o sector dos gases de petróleo liquefeito em geral, e para os parques de armazenagem e movimentação em particular, embora existissem já metodologias para a abordagem deste tema, interessa redefini-las, adequando-as à envolvente legislativa europeia actual, para que possam continuar a permitir uma correcta gestão dos equipamentos instalados, a par das práticas operacionais. Esta metodologia deverá ter em linha de conta os esquemas de manutenção associados a cada equipamento, os regimes de funcionamento e respectivos ciclos de vida, bem como a necessidade de permanente actualização tecnológica.

As abordagens convencionais às directivas ATEX, geralmente partem de um *layout* pré-definido ou existente e realizam uma análise cujo objectivo é a resposta aos vários pontos da legislação, sendo o

resultado normalmente um conjunto de protecções e restrições ao funcionamento das estruturas, mantendo, no entanto, tanto a forma como o conteúdo dos sistemas instalados, ao mesmo tempo que os complementam com um conjunto de procedimentos ou instruções operativas no sentido da protecção. Sob o ponto de vista do dimensionamento e desenho de estruturas, processos e postos de trabalho, as abordagens típicas geralmente não tomam em linha de conta os aspectos relacionados com a existência de atmosferas potencialmente explosivas. Esta análise é quase sempre um trabalho efectuado à posteriori, resultando numa classificação de zonas e numa restrição ao nível dos equipamentos a instalar.

Como objectivos do presente trabalho, propomo-nos partir do comportamento singular de cada equipamento, que fará parte de um conjunto pré-seleccionado, instalado num local exposto a uma atmosfera potencialmente explosiva, para proceder a uma análise que, de acordo com o respectivo tipo, características, fluidos a movimentar e regimes de funcionamento, permita compilar os elementos necessários:

- à classificação das várias zonas ATEX, por equipamento;
- à melhoria da gestão de alterações e/ou instalação de novos equipamentos/estruturas;
- para fornecer pistas conducentes à melhoria do desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL, permitindo optar, desde a fase de projecto, por traçados mais vantajosos, sob o ponto de vista das atmosferas explosivas.

1.5. METODOLOGIA

Para atingir os objectivos a que nos propomos, iremos em primeiro lugar efectuar uma caracterização da indústria do GPL, quer em termos globais, quer particularmente para um contexto mais restrito e específico: a Região Autónoma dos Açores. Ao mesmo tempo, iremos apresentar em termos globais, a evolução deste segmento de mercado.

Para a situação concreta dos Açores, far-se-á uma descrição das actividades associadas à armazenagem e movimentação de butano, tendo como base os Parques de armazenagem e enchimento de GPL existentes nessa Região Autónoma.

Depois de efectuarmos uma caracterização mais pormenorizada dos gases de petróleo liquefeito, faremos uma abordagem à teoria subjacente às etapas de armazenagem e movimentação de produto, como forma de identificar os principais equipamentos que integram este processo.

Em seguida, seleccionaremos uma instalação de armazenagem e enchimento de GPL, que constituirá a amostra deste trabalho, e a partir da qual procederemos à realização de simulações que tomarão em linha de conta as condições de funcionamento e restrições operativas dos equipamentos considerados, bem como as variáveis ambientais envolvidas. Seguidamente, e para um contexto de um Parque de GPL, verificaremos quais os métodos existentes para a caracterização da libertação de produtos para a atmosfera (neste caso em concreto, com densidade superior à atmosfera), por forma a elegermos o tipo de modelação matemática que adoptaremos, e que permitirá perceber os vários fenómenos que ocorrem numa libertação de butano. Nesta fase compilaremos também as equações que servirão de base ao desenvolvimento de um programa informático, que nos permitirá simular vários cenários típicos de fugas.

Partindo então dos equipamentos que foram seleccionados, analisaremos as causas associadas à ocorrência de fugas, e introduziremos os dados disponíveis sobre essa probabilidade. Definiremos as zonas ATEX, na acepção de Decreto-Lei n.º 236/2003, de 30 de Setembro e elencaremos os vários cenários que sujeitaremos às simulações em ambiente Matlab.

A implementação de uma rotina utilizando o software Matlab com Simulink, permitirá testar as variáveis de forma independente, o que possibilitará perceber de que modo estas concorrem para o resultado final. A última fase deste trabalho consistirá na compilação e análise dos resultados de cada cenário, e na representação gráfica das áreas potencialmente explosivas. De acordo com os resultados obtidos, terminaremos este trabalho realçando um conjunto de preocupações inerentes às fases de concepção e desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL.

2. GPL – CONCEITOS E EVOLUÇÃO

2.1. ENQUADRAMENTO GLOBAL

O conhecimento dos Gases de Petróleo Liquefeito é muito recente e remonta ao século XIX. No entanto, desde muito cedo existem relatos sobre fenómenos ligados à observação de gases de petróleo

pelo Homem, como “chamas eternas” e “espíritos”, que não eram mais do que o resultado da queima de gás natural ou petróleo, que se escapava através da superfície terrestre. Cerca de 2000 anos AC, o Homem já utilizava o petróleo para fins medicinais e para iluminação e o gás natural como combustível para aquecer e evaporar água salgada para a produção de sal, recorrendo para isso a processos mais ou menos complexos (National Propane Gas Association, 1988).

Só por volta do século XIX é que se desenvolveram tecnologias que permitiram a perfuração até aos jazigos de petróleo. Muitas vezes o petróleo daí extraído vinha misturado com gás natural. De salientar que, inicialmente, esse gás não era considerado útil, pelo que era queimado à medida que se dava a extracção, no entanto não tardou muito para que se descobrissem utilizações para esse “subproduto”, e se desenvolvessem métodos para a sua recuperação, transporte e armazenagem.

A indústria dos gases de petróleo liquefeito só teve início no século XX, facto directamente relacionado com um problema na refinação e armazenagem de gasolina. Nessa altura, o manuseamento da gasolina utilizada como combustível nos automóveis era difícil. Devido a técnicas de refinação inadequadas, a gasolina evaporava ou libertava-se facilmente. Sob a orientação de Walter Snelling, o *U. S. Bureau of Mines* iniciou experiências para estabilizar a gasolina (National Propane Gas Association, 1988). Snelling descobriu que esses gases que se evaporam, podiam ser condensados e armazenados no estado líquido, sob pressões e temperaturas moderadas. Cerca de 1911, Walter Snelling tinha conseguido identificar e isolar butano e propano - os dois maiores componentes dos GPL - e ao longo das suas experiências desenvolveu o primeiro método prático para extrair estes produtos a partir das gasolinas.

O primeiro parque de armazenagem de GPL foi construído em 1920, pela *Caribe and Carbon Chemical Company* que desenvolveu um mercado para basicamente dois produtos: “Pyrogen”, utilizado em processos de oxi-corte e “Pyrofax” para aplicações em fogões domésticos (National Propane Gas Association, 1988).

Actualmente, em termos globais, se dividirmos a produção mundial de gases de petróleo liquefeito em regiões, de acordo com a localização geográfica, verificamos uma distribuição como a que se mostra no gráfico da Figura 2.1.

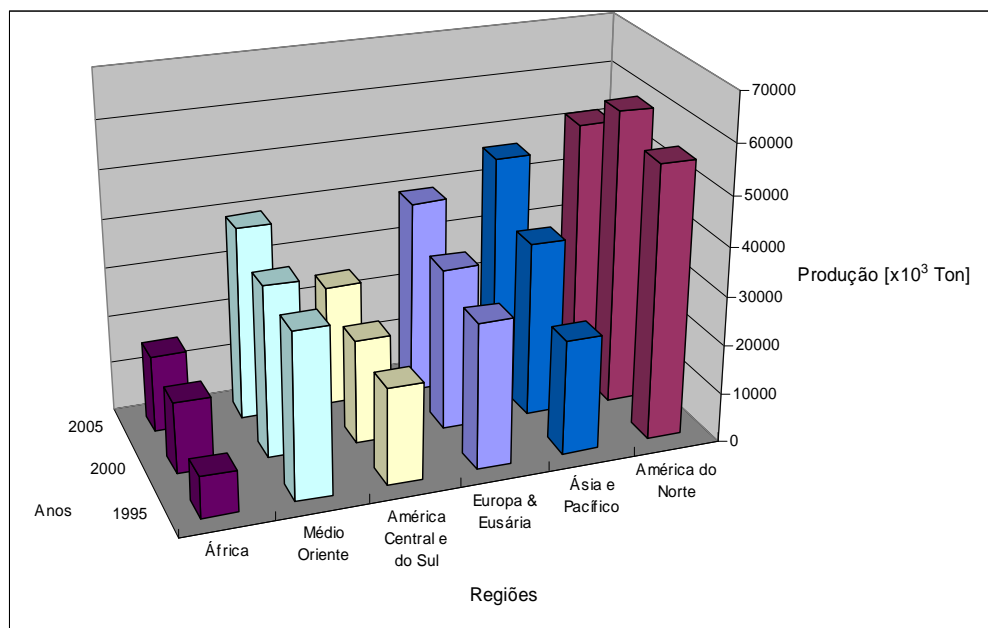


Figura 2.1. Produção mundial de GPL em 1995, 2000 e 2005 (World LP Gas Association, 2006).

Tomando como referência um intervalo temporal de apenas 10 anos, regista-se um aumento de cerca de 27.8% do valor total da produção, o que vai ao encontro da necessidade de consumo que registou, em igual período, um aumento de cerca de 49 187 milhões de toneladas, ou 29.6%. Verifica-se ainda que as regiões da Ásia e Pacífico e da África, duplicaram os seus valores, contribuindo para a produção global, em 2005 com 21.4% e 7.2% respectivamente.

Relativamente aos dados sobre o consumo mundial de GPL, e considerando ainda o intervalo de tempo de 1995 a 2005, regista-se um crescimento global de 29.6%, com uma distribuição por áreas que se evidencia na Figura 2.2.

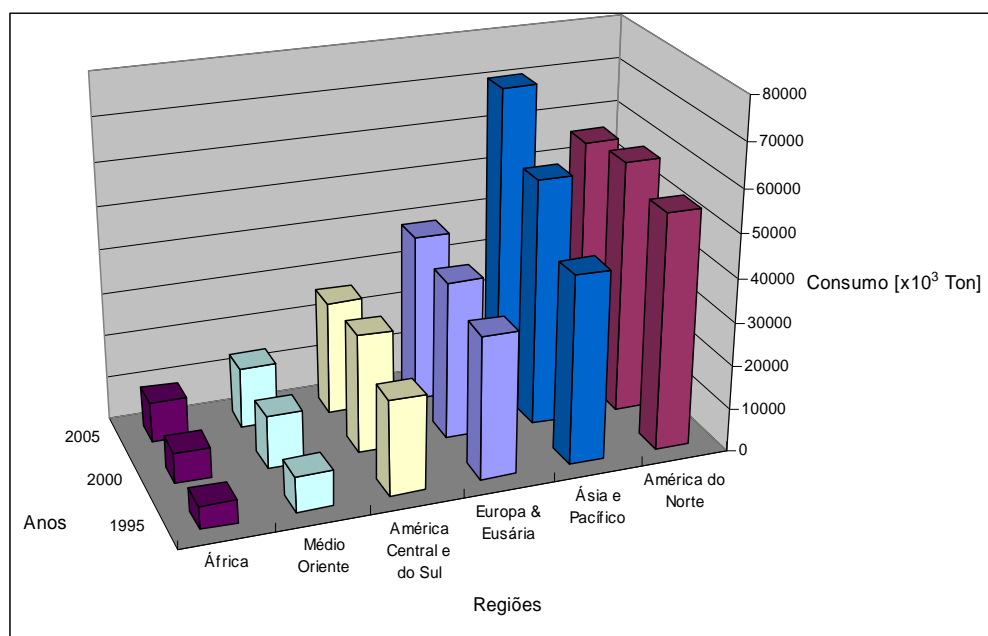


Figura 2.2. Consumo mundial de GPL em 1995, 2000 e 2005 (World LP Gas Association, 2006).

A distribuição do consumo, em termos parcelares, conheceu uma alteração significativa, sendo os maiores crescimentos registados em África (cerca de 71.5%) e na região Ásia e Pacífico, com um crescimento de 63.3%. Um facto interessante, que realçamos é a “troca” de posições entre as regiões América do Norte e Ásia e Pacífico, onde a primeira concentrava 33 % e a segunda 26%, do consumo global em 1995, valores que foram invertidos em 2005 passando a América do Norte a ocupar o 2º lugar como consumidor, com 26%, sendo suplantado pela Ásia e Pacífico com 32% do consumo. Este cenário, traduz-se em valores absolutos, num aumento muito acentuado no consumo da região Ásia e Pacífico, com aproximadamente 71 milhões de toneladas.

A Figura 2.3. permite observar a relação entre os valores mundiais relativos à produção e ao consumo de GPL. Verifica-se que o maior contributo para o valor global da produção tem origem nas regiões do Médio Oriente e da África, dado que os valores “retidos” para consumo nessas áreas é bastante inferior à produção, ou seja, constata-se uma orientação dedicada para o mercado externo. Em contraste, encontram-se outras partes do globo, como a América do Norte e Ásia e Pacífico, cujas produções embora atinjam os valores absolutos mais elevados, não são suficientes para suprir as suas necessidades energéticas. Esta situação reflecte de forma clara a diferença em termos industriais e de desenvolvimento de uns em relação aos outros.

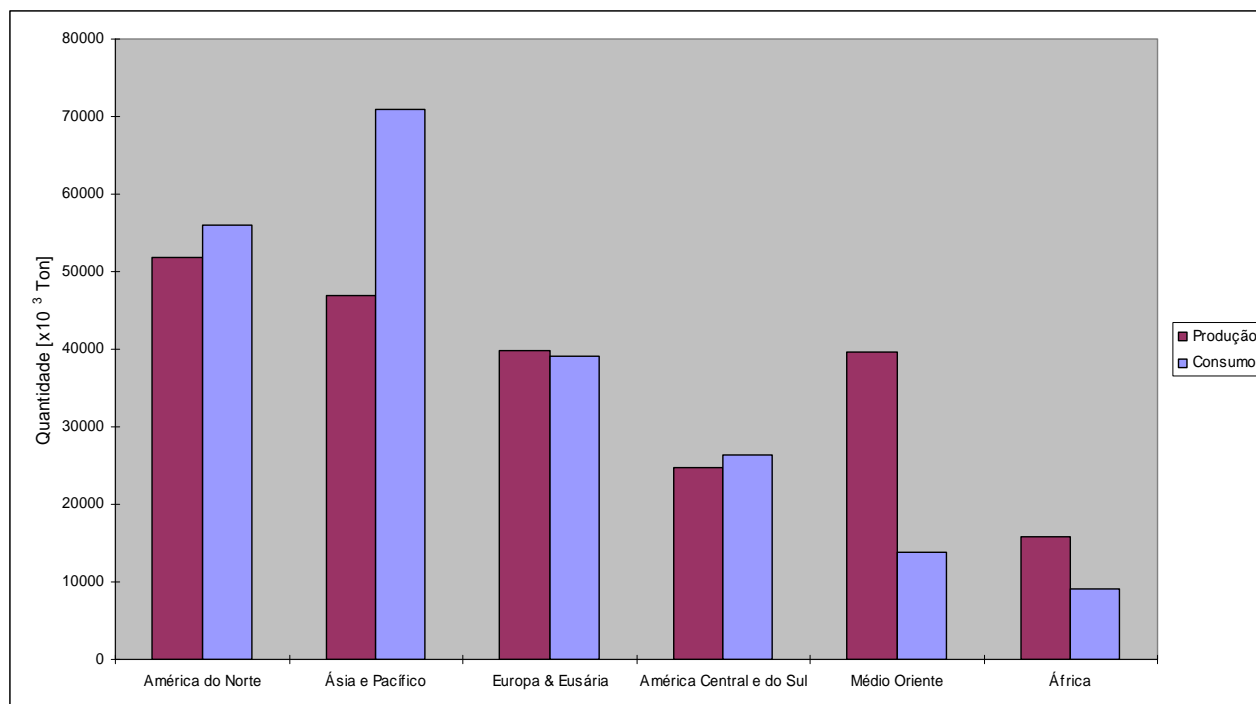


Figura 2.3. Comparação entre a Produção e o Consumo de GPL, para as várias regiões – ano de 2005 (World LP Gas Association, 2006).

Em termos de segmentos do mercado, os dados disponibilizados pela *World LP Gas Association*, permitem identificar seis grupos de consumo: Doméstico, Agricultura, Indústria, Transportes, Refinação e Química. (Figura 2.4.)

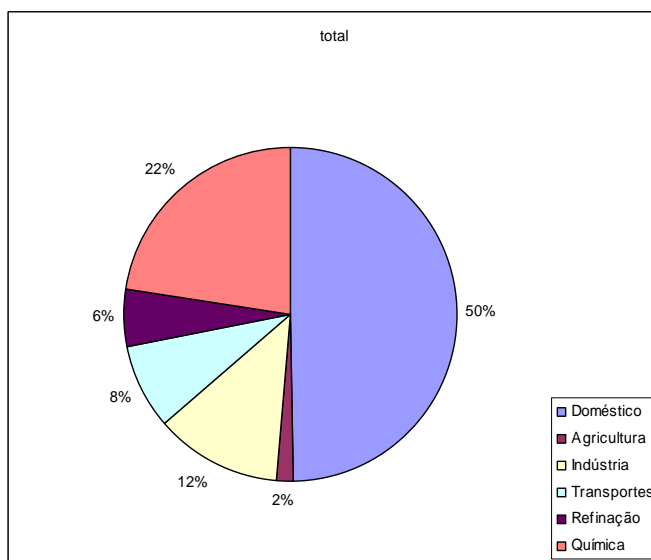


Figura 2.4. Repartição do consumo de GPL por segmentos – ano de 2005 (World LP Gas Association, 2006).

Embora com diferenças significativas entre as regiões consideradas, em termos globais, metade do consumo é devido ao segmento doméstico, seguindo-se o químico com 22% e o industrial com 12%.

A nível europeu, segundo valores da Associação Europeia de Gases de Petróleo Liquefeito, estima-se em cerca de 110 milhões o número de consumidores de GPL na Europa, o que representa 28.9% da população, para um montante global de 1.6% da energia consumida na Europa. (AEGPL, 2006)

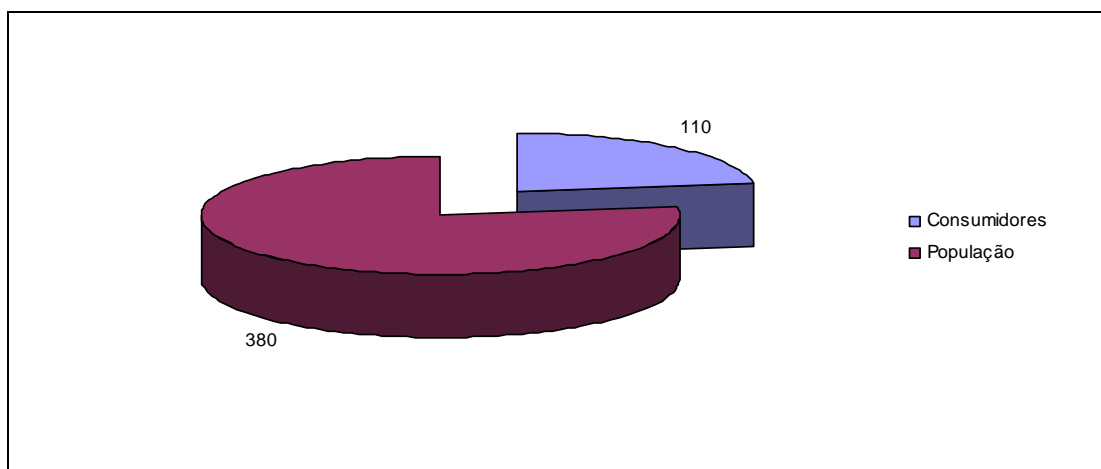


Figura 2.5. População e consumidores de GPL na Europa, em milhões para o ano de 2001 (AEGPL, 2003).

Ainda de acordo com a mesma fonte, em 2001 esta indústria apresentava, para a Europa, os indicadores que constam da Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Indicadores europeus para a indústria do GPL – ano de 2001 (AEGPL, 2003)

<i>Variáveis</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
Fornecimento anual de GPL (garrafas e granel)	16×10^6	Ton
Quantidade de taras movimentadas	200×10^6	Unidades
Número de consumidores de GPL com reservatórios fixos	3×10^6	--
Quantidade anual de taras vendidas (não retornáveis)	50×10^6	Unidades
Postos de trabalho directo	27×10^3	Pessoas

Estes números pretendem dar uma ideia da dimensão dos vários segmentos do mercado Europeu.

A distribuição de GPL (butano e propano) pelos vários países da Europa pode ser visualizada no gráfico da Figura 2.6, onde os valores referem o consumo anual total, em toneladas.

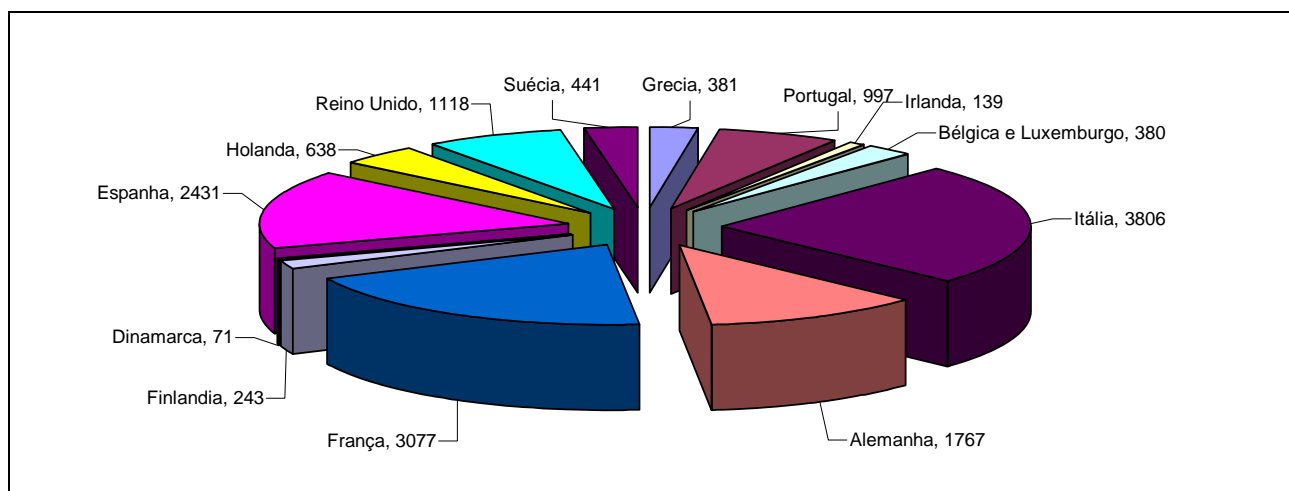


Figura 2.6. Consumo de GPL por países da Europa. Valores em Toneladas (AEGPL, 2003).

Note-se que, apenas quatro países são responsáveis por cerca de 72% do consumo europeu (Itália, França, Espanha e Alemanha). Em contrapartida, a Dinamarca e a Irlanda são os países que registam menor consumo. Em Portugal, como se pode verificar do gráfico da Figura 2.6, o consumo anual atinge as 997 toneladas, o que representa cerca de 6% do consumo Europeu.

Em termos de estruturas de armazenagem, contabilizavam-se na Europa, em 2001, cerca de 900 estabelecimentos com capacidade para 50 a 200 toneladas de GPL e cerca de 350 estabelecimentos com capacidade de armazenagem superior a 200 toneladas (AEGPL, 2003). Esta divisão por capacidades está relacionada com as duas classes de estabelecimentos desta natureza, segundo o definido no anexo I da Directiva Europeia 96/82/CE, de 9 de Dezembro (Directiva de Seveso). Esta Directiva encontra-se transposta para a Legislação Portuguesa, pelo Decreto-Lei n.º 164/2001, de 23 de Maio.

Relativamente ao número de acidentes registados para o sector dos GPL, segundo a Associação Europeia de GPL (AEGPL, 2003), este segmento apresenta os valores significativamente mais baixos, quando comparado com outras actividades. A comprovar esta afirmação mostramos as Figuras 2.7 e 2.8, que se referem a valores para acidentes com baixa superior a 3 dias e para acidentes mortais, para vários sectores de actividade na Europa. Os valores disponíveis têm por base o número médio de 100 000 trabalhadores e respeitam ao ano de 1996.

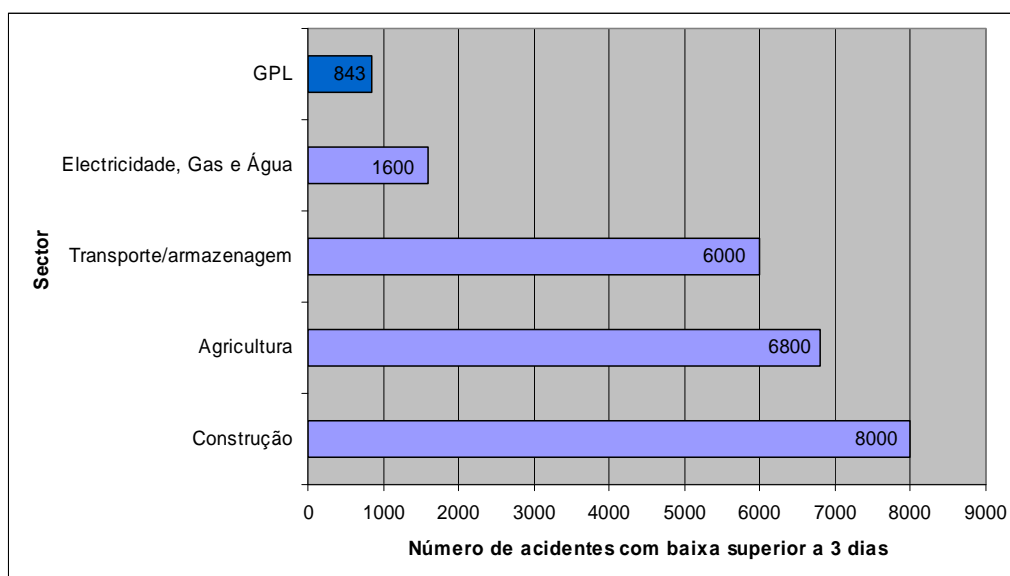


Figura 2.7. Acidentes com baixa superior a 3 dias, por sector de actividade na Europa em 1996, por 100 000 trabalhadores (AEGPL, 2003).

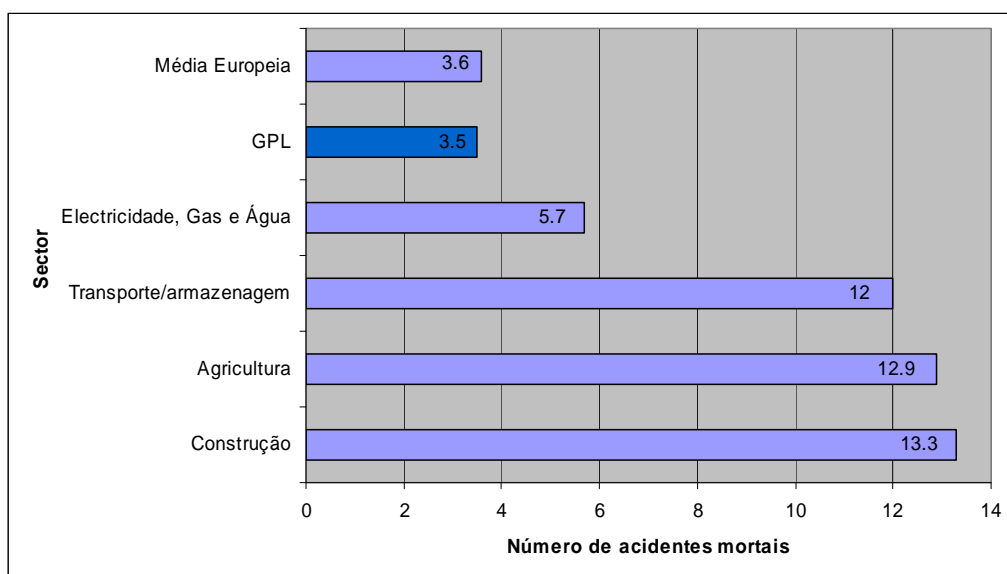


Figura 2.8. Acidentes mortais por sector de actividade, na Europa em 1996, por 100 000 trabalhadores (AEGPL, 2003).

Embora se verifique algum desfasamento temporal, após contactar directamente com a AEGPL, recebemos a informação que não foi publicado nenhum estudo mais recente sobre esta matéria, tendo-nos sido transmitido ainda que se encontra a decorrer uma recolha que permitirá uma actualização dos valores em causa. Mesmo assim, dada a pertinência dos números envolvidos, optamos por apresentá-los.

Relativamente ao transporte de GPL, estima-se que na Europa este corresponda a cerca de 10% do transporte efectuado por estrada, (AEGPL, 2003). Quanto à percentagem de acidentes e vítimas mortais registados no âmbito do transporte de mercadorias perigosas por estrada, em 2002, na Europa, registaram-se 0.2% e 0.5% respectivamente, no que diz respeito ao GPL, face aos valores globais de sinistralidade (AEGPL, 2003). Como referência e para enquadrar os dados apresentados, refira-se que o risco de morte, por ano e por quilómetro, nas estradas europeias atinge valores na ordem de 4×10^9 vítimas.

Ainda de acordo com a AEGPL, relativamente aos acidentes domésticos, mortais, relacionados com o GPL, ou seja já no utilizador final do produto, obtemos um valor inferior a 0.1% do total dos acidentes, o que, em termos comparativos e como se pode constatar na Figura 2.9, ser vítima de um acidente doméstico mortal com GPL é tão provável como ser vítima de um acidente de avião.

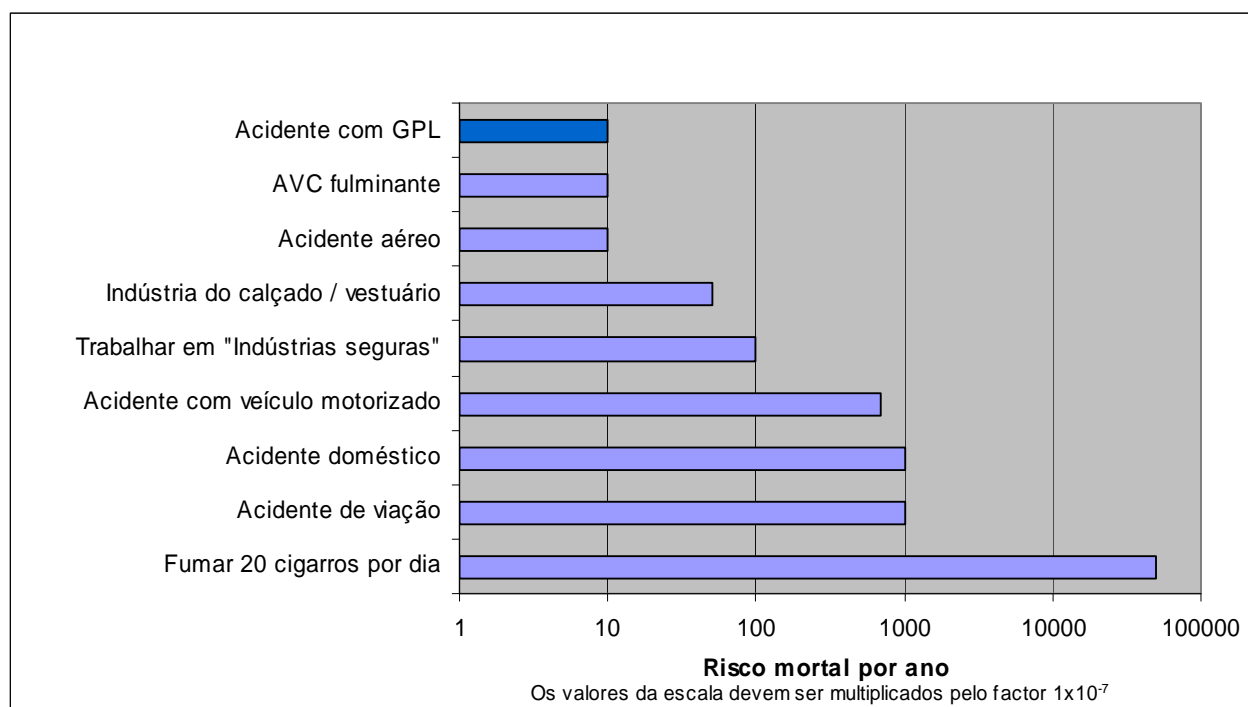


Figura 2.9. Risco de morte por ano, por factores de acidentes (AEGPL, 2003).

Como complemento, consideramos interessante neste ponto, citar os resultados de uma análise de riscos comparativa, efectuada em 2002, pela UK HSE, onde se concluiu que as actividades relacionadas com o GPL se encontram dentro daquelas com um risco tolerável, muito inferior ao de outros factores, nomeadamente o consumo de tabaco ou acidentes domésticos e de viação. (AEGPL, 2003)

2.2. OS GPL EM PORTUGAL

Em Portugal, o interesse energético pelo GPL inicia-se na segunda década do século XX. Em 1933 foi criado o Instituto Português de Combustíveis, integrado no Ministério do Comércio, Indústria e Agricultura. Este ministério, que tinha como funções as de apoio técnico e fiscalização, atribuiu a António Lopes Pinto Coelho, em 1938, a primeira licença de importação de GPL para Portugal. A este pedido de licenciamento juntaram-se mais dois, o da SACOR e o da *Redventza*, o último não deferido, (Galp Energia, 2005).

A 6 de Outubro de 1939 foi criada a empresa CIDLA - Combustíveis Industriais e Domésticos, Lda., a qual, ainda nesse ano, compra a licença de importação de butano a António Lopes Pinto Coelho (alvará nº 1 de autorizações gerais de importação, de 150 toneladas anuais de butano, de Dezembro de 1938). Em 1940 é também transferida para esta empresa, por decisão governamental, a licença atribuída à SACOR, tornando-se a CIDLA a única empresa distribuidora de GPL, com um contingente de importação autorizado

de 300 toneladas/ano. Para a comercialização do novo produto, o gás butano engarrafado, foi criada a marca *Gazcidla*, começando também a funcionar em Sacavém a primeira instalação de armazenagem e enchimento de gás.

Em 1950, o Governo decidiu terminar com as restrições à importação de gás, até então existentes, na sequência do parecer do Conselho de Combustíveis da Direcção-Geral de Combustíveis que apontava nesse sentido. Assim, após 1953 deixou de ser necessária autorização para a importação e distribuição de gases de petróleo. Apesar de esta medida ter fomentado o surgimento de novas empresas distribuidoras, a CIDLA manteve-se sozinha no mercado até finais de 1959. Foram quase duas décadas de monopólio, durante o qual o número de consumidores aumentou exponencialmente e o preço de venda baixou mais de 50 por cento.

Entretanto, em Outubro de 1954, inicia-se em Portugal a produção de gases de petróleo liquefeitos, com o arranque da unidade de “cracking catalítico” na Refinaria de Cabo Ruivo. Face a esta nova realidade passa a ser obrigatória a comercialização de GPL, como previsto pelo governo. A capacidade produtiva do país irá aumentar com a inauguração da Refinaria do Porto em 1970, e mais tarde com a de Sines em 1978.

Em 1960 entraram no mercado português de GPL, a SHELL e a MOBIL, às quais se seguiram, em 1964, a BP e em 1968 a ESSO. Há ainda a registar, em 1965, a entrada da SONAP, também portuguesa, no mercado do GPL, e para a distribuição de garrafas pequenas surge, em 1964, a Gás Flaga Portuguesa. De referir que, a SONAP revelou-se um concorrente importante para a CIDLA, principalmente por ter adoptado uma estrutura mais leve e novos métodos de comercialização como o retorno da garrafa ou o contra-pagamento. Face ao crescimento constante, a CIDLA optou por uma estratégia de participação em empresas associadas, dentro e fora do país. Em Portugal, participa no capital social da Petróleo Mecânica Alfa, que produz sobretudo material para vasilhame, desde 1968 na SAAGA, que faz a armazenagem e enchimento nos Açores, e na EIVAL, que tem a seu cargo o “minigás”, além da produção de electrodomésticos e, mais tarde, lâmpadas e pilhas eléctricas. Entretanto A CIDLA diversifica ainda mais o âmbito de acção com participações em companhias de seguros, na SACOR Marítima (curiosamente possuía um butaneiro que se chamava CIDLA) e na Geogás, para os estudos relativos ao gás natural. Fora do país, mantém representações nas colónias, nas empresas que fazem a distribuição local com os produtos da CIDLA e da SACOR.

Em 1964, quando a concorrência no sector começou a tornar-se mais forte, a CIDLA comemorou 25 anos com a inauguração do maior e mais avançado parque de armazenagem e enchimento do país – o Parque do Rosairinho. Com esta nova infra-estrutura, já bastante mecanizada e totalmente vocacionada para o GPL, a CIDLA ganhou vantagem na capacidade de resposta e na optimização dos recursos e de tempo. O Rosairinho foi durante muitos anos a instalação referência em Portugal para o GPL.

As alterações políticas da década de 70, que determinaram a nacionalização do sector energético, afectaram também a CIDLA, que, em 1975, passou a integrar a Petrogal – Petróleos de Portugal. Na sequência da nacionalização, esta empresa enfrentou o desafio da uniformização de materiais e processos, concretamente no que ao GPL diz respeito. Além do sistema de revenda, das entregas e pagamentos, era necessário harmonizar o vasilhame, processos de enchimento e transporte. Esta fase ficou definitivamente concluída com a criação da marca Galpgás, da qual se destacou a nova garrafa, com sistema válvula/redutor mais fácil de utilizar e mais seguro, (Galp Energia, 2005).

Em 2000, a BP Portuguesa adquire a MOBIL Oil Portuguesa, com a qual havia estabelecido uma joint-venture quatro anos antes, e em 2004 a REPSOL YPF adquire a totalidade dos negócios que o grupo SHELL detinha em Portugal, com excepção dos lubrificantes e do parque de combustíveis da Madeira, este último desactivado um ano mais tarde, com o início das actividades da Companhia Logística de Combustíveis da Madeira (APETRO, 2007).

2.3. O CASO PARTICULAR DO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES

Os gases de petróleo liquefeitos começaram a chegar ao arquipélago açoriano, por via marítima, a partir de 1954. A sua expansão a todas as ilhas realizou-se de forma gradual, e variou de acordo com as empresas distribuidoras nos Açores, que eram então a CIDLA, a SHELL e a MOBIL, as quais tinham agentes locais. O sistema de abastecimento fazia-se com garrafas provenientes do continente português, as quais eram posteriormente devolvidas para serem reutilizadas. Este processo, que comportava grandes custos logísticos, dificultava também a armazenagem de grandes quantidades de produto o que, acrescido com as dificuldades de transporte inter ilhas, tornava inevitável a existência de rupturas pontuais de stocks. Conscientes desses constrangimentos iniciais que se verificaram, e com o intuito de melhorar o serviço prestado às populações, as distribuidoras SHELL, CIDLA, e os agentes locais desta última (Em S. Miguel: A.C. Cymbron; na Terceira: Frederico A. Vasconcelos, e no Faial: Costa & Martins), iniciaram negociações

no sentido da constituição de uma sociedade local, que dispusesse de instalações de recepção, armazenagem e enchimento de garrafas. A distribuição das garrafas continuaria a cargo das empresas distribuidoras, através dos seus agentes locais. De referir, o forte empenhamento do Eng.º Pedro Cymbron neste projecto, o qual veio a tomar forma, em Ponta Delgada, a 13 de Maio de 1968, aquando da assinatura da escritura de constituição da SAAGA - Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, SA., com um capital social de nove milhões de escudos.

Após o período de criação das estruturas operacionais necessárias, a SAAGA começa a laborar no segundo semestre de 1971, no Parque da Nordela, situado no extremo oeste da cidade de Ponta Delgada, ilha de S. Miguel, exercendo a sua actividade exclusivamente no âmbito dos GPL. O produto, transportado em navios-butaneiros, era recebido e armazenado, para depois se encherem as garrafas de todas as distribuidoras que operavam nos Açores.

Devido à crise petrolífera mundial e à expectativa criada no país pela revolução de Abril, a SAAGA registou no período de 1974-1976, uma retracção da actividade. Contudo, foi nesse período, designadamente em 1975, que se expandiu às ilhas Terceira e Faial, com o início do funcionamento dos Parques de Angra do Heroísmo e da Horta. Na década seguinte, a SAAGA alargou a sua actividade à prestação de serviços na área dos combustíveis líquidos (gasolinas e gasóleo), primeiro no Parque de Angra e mais tarde na cidade da Horta, esta última no parque de combustíveis líquidos propriedade da Petrogal. Em 1986, iniciou o abastecimento a aeronaves, no aeroporto de Castelo Branco, ilha do Faial e em 2007 no aeroporto João Paulo II, em Ponta Delgada, ilha de S. Miguel.

Actualmente, a Região Autónoma dos Açores, conta com as capacidades de armazenagem e enchimento de GPL que constam da Tabela 2.2., distribuídos por três das nove ilhas dos Açores (vide Figura 2.10.). O parque localizado na Praia da Vitória, ilha Terceira, encontra-se em fase de construção. Esta nova estrutura é propriedade da empresa Terparque, constituída pela SAAGA, AZÓRIA e BENCOM. Além do GPL, este parque contará com estruturas de armazenagem e abastecimento de combustíveis líquidos (Gasolinas, Gasóleo e Jet).

Tabela 2.2. Caracterização das estruturas de armazenagem e enchimento de GPL nos Açores.

<i>Localização</i>	<i>Capacidade de Armazenagem [m3]</i>	<i>Estruturas de enchimento</i>
Ilha de S. Miguel - Ponta Delgada	2450	- Enchimento de garrafas e carros-cisterna
Ilha Terceira - Angra do Heroísmo	1600	- Enchimento de garrafas e carros-cisterna
Ilha do Faial – Horta	750	- Enchimento de garrafas
Ilha Terceira – Praia da Vitória	2000	- Enchimento de garrafas e carros-cisterna

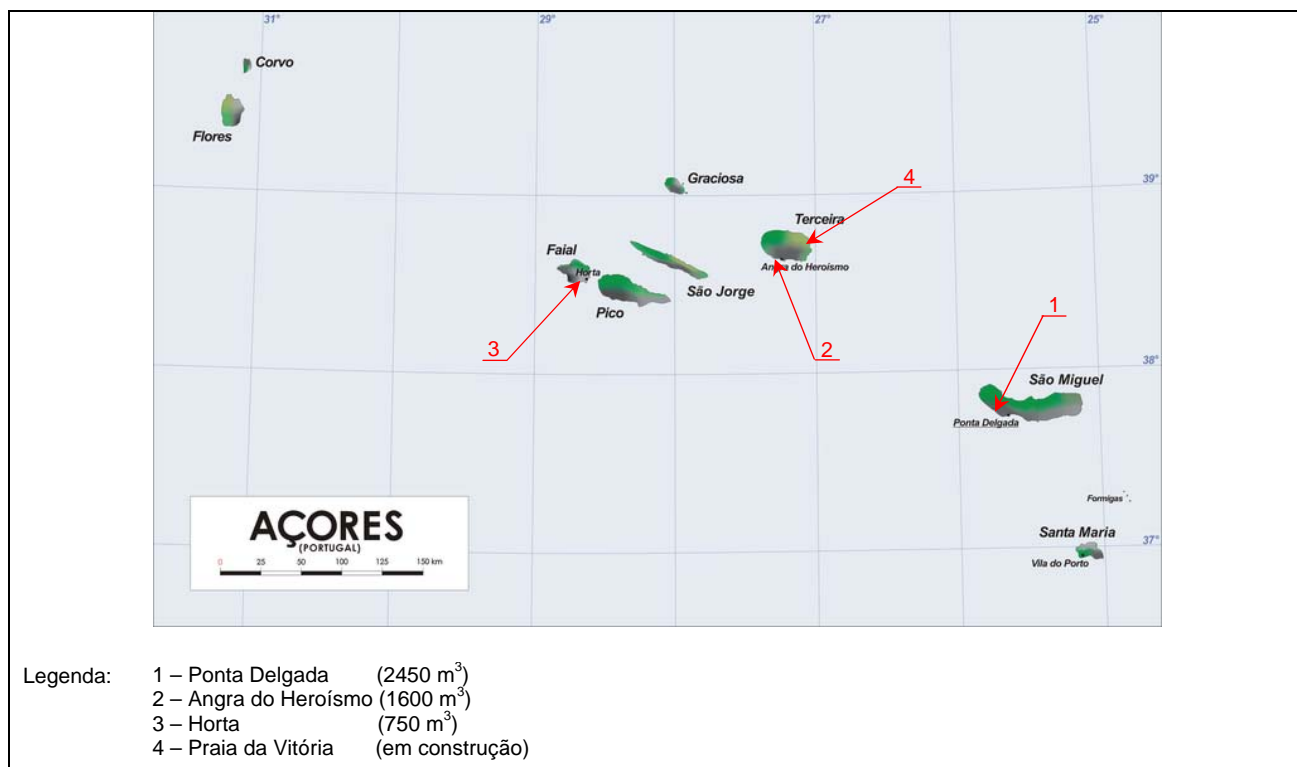


Figura 2.10. Localização dos parques de armazenagem e enchimento de GPL no arquipélago dos Açores.

Considerando os valores totais, relativamente à movimentação de GPL nos parques da SAAGA, verificamos o comportamento que se evidencia na Figura 2.11, que mostra a evolução crescente do mercado açoriano desde o ano de início de funcionamento do primeiro parque de armazenagem e enchimento situado nos Açores.

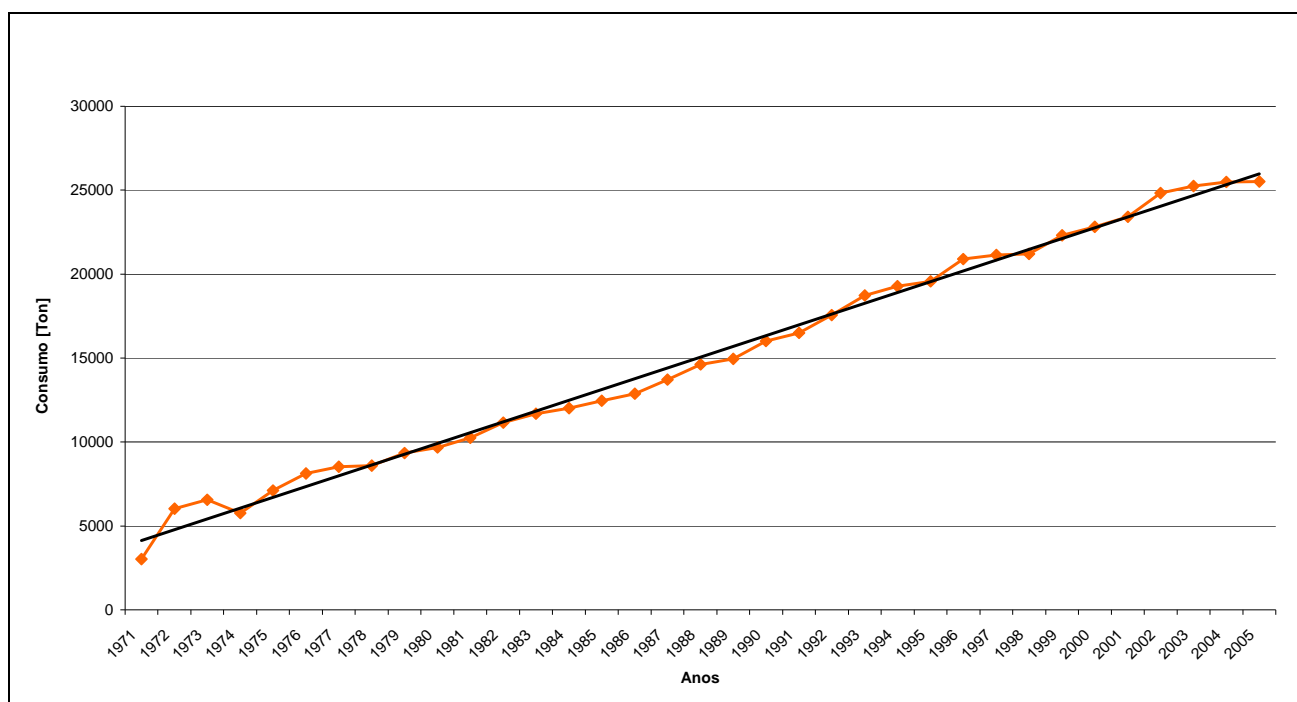


Figura 2.11. Evolução do consumo total de GPL nos Açores de 1971 a 2005 (SAAGA, 2006).

De uma forma indirecta, o consumo de GPL pode indiciar o padrão ou se preferirmos, o estilo de vida da população, onde, se analisar-mos o declive da recta de tendência, aponta para um “bem estar” crescente dos Açorianos.

Relativamente ao consumo por ilhas, S. Miguel concentra, dada a sua população (55% do total do arquipélago), sensivelmente pouco mais de metade do consumo (53%), como se verifica realizando uma análise à Figura 2.12., que apresenta a distribuição do consumo de GPL por ilha. Se compararmos esse valor do consumo, com o número de habitantes, chegamos a uma conclusão interessante: o consumo *per capita* é igual em todas a ilhas do arquipélago e atinge um valor anual de cerca de 100kg, o que equivale a uma média mensal de 2.5 garrafas de 13 kg de butano, para uma família de 4 pessoas.

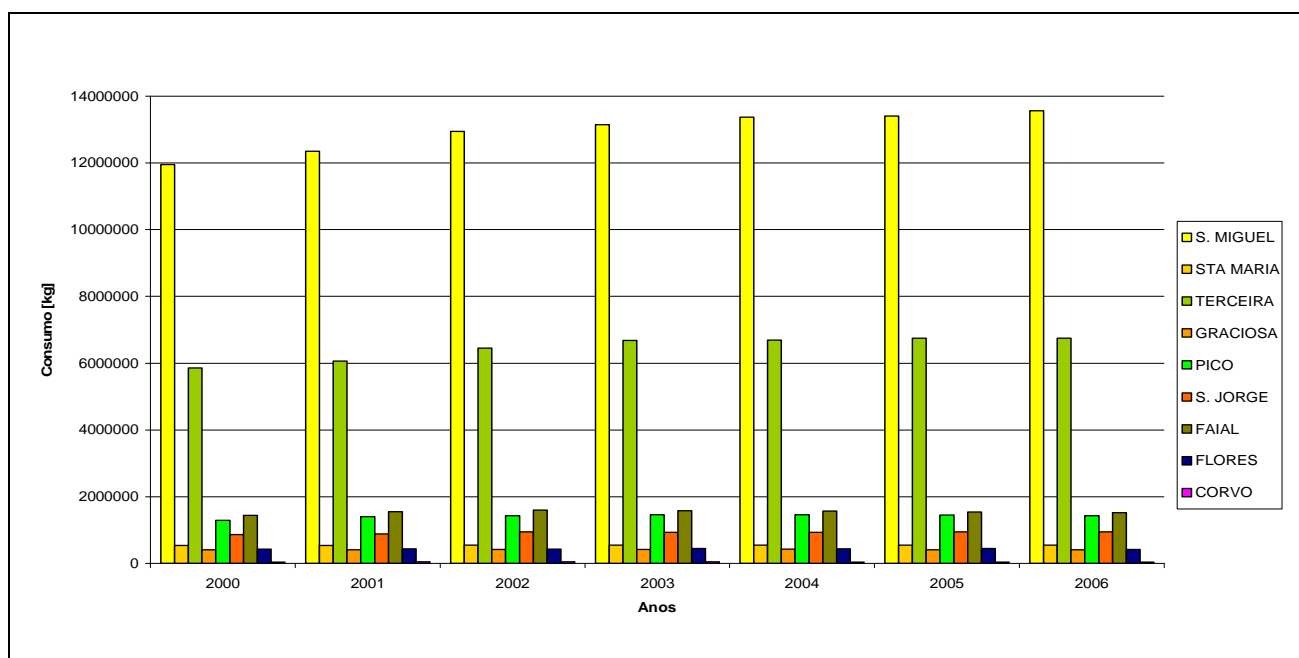


Figura 2.12. Consumo de GPL por ilha, de 2000 a 2006 (SAAGA, 2006).

Embora no arquipélago dos Açores existam algumas situações pontuais, localizadas na ilha de S. Miguel, que por razões técnicas ou outras, utilizam propano, todo o restante mercado é abastecido com butano. No caso das situações de utilização de propano, o abastecimento é feito em garrafas, vindas directamente do continente português, e não se consideram a existência de parques de armazenagem, sendo feita venda directa ao cliente final. O motivo principal desta situação prende-se com o desempenho do butano, que responde de forma adequada às necessidades de consumo, para a gama de temperaturas que se registam ao longo do ano no arquipélago e cujo histórico dos valores mínimos se evidencia no gráfico da Figura 2.13.

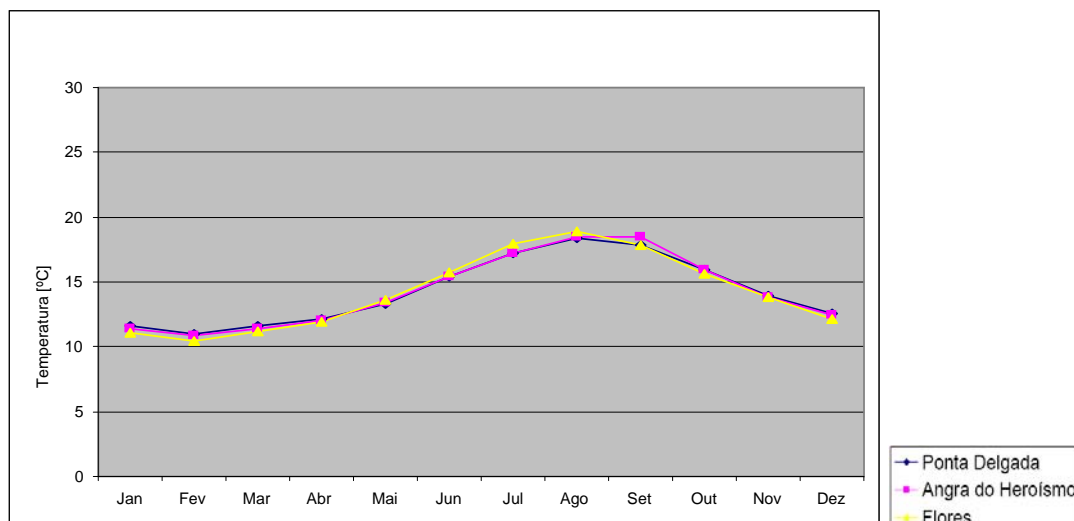


Figura 2.13. Valores médios das temperaturas mínimas mensais no arquipélago dos Açores (IM, 2006).

Este gráfico, elaborado a partir dos valores disponíveis no Instituto de Meteorologia, relativos aos anos de 1961 a 1990, para Ponta Delgada e Angra do Heroísmo e de 1970 a 1990 para as Flores, permite reforçar a argumentação a favor da utilização exclusiva de butano no arquipélago dos Açores, já que:

- Dado que os valores médios das temperaturas mínimas são superiores a 10 °C, e uma vez que o butano apresenta o seu ponto de ebulição próximo dos 0 °C, à pressão atmosférica normal, significa que não existem dificuldades em termos de vaporização aquando do respectivo consumo, ou seja, as temperaturas a que se sujeita um reservatório de butano são sempre significativamente superiores ao seu ponto de ebulição, permitindo que se dê a troca de calor necessária e suficiente para que parte do produto armazenado possa passar ao estado gasoso, e ser utilizado nos equipamentos de queima.

A este argumento poderemos juntar outros:

- a pressão necessária quer para a armazenagem do butano (cerca de 1.5 kg/cm²), quer para a sua movimentação é inferior à do propano (cerca de 7 kg/cm²), o que se traduz numa economia em termos de estruturas de armazenagem e movimentação (lembremo-nos que quanto maior for a pressão de armazenagem que um reservatório tiver de suportar, maior será a sua espessura de chapa);

- em termos de segurança, quer pelo facto das pressões serem menores no caso do butano, quer pelo valor da temperatura de ebulição que se situa, como vimos, nos 0°C para o butano, mas que atinge o valor de -42°C no caso do propano, o que se existir uma fuga de produto, terá um efeito, por exemplo, sobre o corpo humano bastante diferente (queimaduras por frio)

- em relação aos equipamentos, nomeadamente fogões, esquentadores e fornos, existe sempre a possibilidade de fácil ajuste dos orifícios dos queimadores, para a utilização com os valores de pressão inerentes à utilização do butano.

Em termos processuais, o butano chega ao arquipélago, transportado via marítima por navios butaneiros, em reservatórios pressurizados. Esses navios atracam nos portos das ilhas onde existem parques de armazenagem e enchimento e efectuam a transferência do produto utilizando os oleodutos instalados desde o *pít* do cais (local existente no cais de atracação do navio, onde existem as estruturas - válvulas e rede de tubagem - que permitem a interligação, por meio de mangueiras flexíveis ou braços articuláveis, do navio ao oleoduto), até aos reservatórios de armazenagem fixa, utilizando para isso meios de movimentação próprios (bombas e compressores).

Nos parques de armazenagem, o butano vai sendo libertado para o enchimento de garrafas ou para abastecimento de reservatórios de clientes (gás a granel). Assim, um parque de armazenagem é algo semelhante a um entreposto ou armazém provisório, que tem como principal função assegurar a manutenção do produto recebido, para o ir libertando de acordo com as exigências de consumo. Possui assim duas grandes áreas: a armazenagem e o enchimento. Na primeira, garante-se o adequado acondicionamento do produto, efectuando-se para isso a monitorização e controlo dos níveis em cada reservatório de armazenagem, respectivas pressões e temperaturas. Na área de enchimento, encontram-se todos os equipamentos necessários para efectuar a trasfega do produto para taras, ou permitir a sua expedição por carro-cisterna. Esta etapa compreende acções de controlo de peso e fugas que permitem assegurar o enchimento em quantidade adequada e em condições de segurança. O esquema descrito encontra-se ilustrado na Figura 2.14.

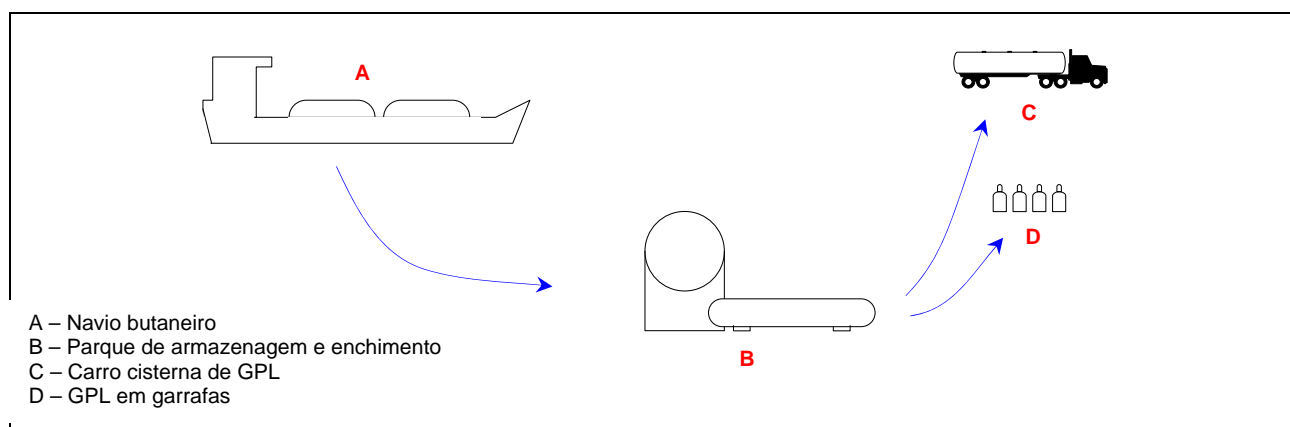


Figura 2.14. Esquema global das várias fases do processo de recepção, armazenagem e libertação de GPL.

Nas ilhas de S. Miguel, Terceira e Faial o gás em garrafas é transportado em viaturas, acondicionadas em paletes, desde os parques de armazenagem e enchimento até aos pontos de venda ao consumidor final. O reenvio para as restantes ilhas é feito em garrafas paletizadas, acomodadas em contentores abertos (*open side flat*, na terminologia dos transportes marítimos de carga) e enviadas por via marítima em navios de carga geral, para os representantes locais e distribuidores.

2.4. GPL – CARACTERIZAÇÃO E ASPECTOS TÉCNICOS

Neste ponto abordaremos algumas noções gerais dos gases de petróleo liquefeito, entre as quais as respectivas propriedades e características químicas e físicas.

2.4.1. Química dos GPL

Independentemente do processo de produção, os vários tipos de GPL têm em comum o facto da maior parcela ser constituída por hidrocarbonetos, contendo três ou quatro átomos de Carbono, por molécula. Estes gases de hidrocarbonetos possuem ainda a capacidade de poderem ser liquefeitos sob uma pressão moderada, à temperatura ambiente.

A composição química de um gás de petróleo liquefeito pode variar, e incluir parcelas de *Etileno* (C_2H_4) e *Heptano* (C_7H_{16}), bem como algumas impurezas, o que significa que os produtos comumente disponíveis e comercializados não são substâncias químicas puras, mas sim misturas. Em consequência, as referências às propriedades destes produtos devem ser entendidas como valores típicos ou médios, o que significa que, para a generalidade das aplicações dos GPL, existe a necessidade de determinar laboratorialmente as propriedades da mistura em causa, ou de asseguramo-nos junto do produtor que essas propriedades encontram-se dentro de limites aceites, de acordo com as especificações/legislação aplicável. No caso Português, a Portaria n.º 348/96, de 8 de Agosto, define a “composição dos gases de petróleo liquefeitos, propano e butano, destinados ao mercado interno nacional, tendo em atenção as características fixadas na normalização europeia [...]”, (Portaria n.º 348/96, de 8 de Agosto). Nesse diploma, são ainda indicados os métodos que devem ser utilizados para a determinação de cada uma das propriedades listadas.

Os hidrocarbonetos saturados são os principais constituintes do GPL disponível comercialmente, nas formas de *Propano* (C_3H_8) e *Butano* (C_4H_{10}), este último como iso-butano e butano normal.

Tabela 2.3. Representação molecular de hidrocarbonetos saturados (NFPA, 2001).

Propano (C_3H_8)	n-Butano (C_4H_{10})	iso-Butano (C_4H_{10})
$ \begin{array}{ccccccc} & H & & H & & H & \\ & & & & & & \\ H & - C & - & C & - & C & - H \\ & & & & & & \\ & H & & H & & H & \end{array} $	$ \begin{array}{cccccccc} & H & & H & & H & & H \\ & & & & & & & \\ H & - C & - & C & - & C & - & C - H \\ & & & & & & & \\ & H & & H & & H & & H \end{array} $	$ \begin{array}{ccccccc} & H & & CH_3 & & & \\ & & & & & & \\ H & - C & - & C & - & CH_3 & \\ & & & & & & \\ & H & & H & & & \end{array} $

De acordo com o processo produtivo, surgem também hidrocarbonetos não saturados, por exemplo nas unidades de *cracking*, como exemplo apresenta-se na Tabela 2.4, os casos do *Propileno* (C_3H_6), *iso-Butileno* e *Butileno normal* (C_4H_8).

Tabela 2.4. Representação molecular de hidrocarbonetos insaturados (NFPA, 2001).

Propileno (C_3H_6)	iso-Butileno (C_4H_8)	n-Butileno (C_4H_8)
$ \begin{array}{c} H \\ \\ H_3C - C = CH_2 \end{array} $	$ \begin{array}{c} H \quad \quad CH_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ C = C \\ \diagup \quad \diagdown \\ H \quad \quad CH_3 \end{array} $	$ \begin{array}{ccccccc} & H & & H & & & \\ & & & & & & \\ H_2C & = C & - & C & - & CH_3 & \\ & & & & & & \\ & & & C & & & \end{array} $

Para determinadas utilizações de GPL, são requeridas especificações mais rigorosas do que as utilizadas para as aplicações genéricas, que como já vimos encontram-se devidamente balizadas em termos de especificações e composição. Como exemplo de aplicações desse tipo, poderemos referir alguns sectores da indústria de processamento de alimentos, os sistemas para enchimento de isqueiros e os impulsionadores utilizados em sprays e aerossóis. Para estes casos concretos, um dos requisitos é a ausência de odorização, o que obriga a instalação de sistemas de detecção de pequenas fugas de gás.

Outras características exigidas para o uso do GPL em isqueiros são um controlo rigoroso do valor apresentado para a pressão de vapor e a ausência de resíduos. Aquando do seu uso em aerossóis é requerido também um controlo muito apertado no sentido da obtenção de produtos quase puros.

Relativamente ao *poder calorífico* de um gás, também designado como *potência calorífica*, é definido como a quantidade de calor libertada numa combustão completa, à pressão constante de 1.013 bar (pressão atmosférica) de uma unidade de volume do referido gás, com os reagentes e os produtos da combustão à temperatura ambiente.

Enquanto definição, o poder calorífico deve ser especificado tendo em conta a forma como ocorreu a reacção: volume constante ou pressão constante, (na indústria do GPL, os processos ocorrem a pressão constante, pelo que passaremos a referir apenas a estes processos e não faremos uso do índice (p)). De acordo com esta diferenciação, podem-se definir vários valores para poder calorífico:

PC_{Sv} - Poder calorífico superior, a volume constante;

PC_{Iv} - Poder calorífico inferior, a volume constante;

PC_{Sp} - Poder calorífico superior, a pressão constante;

PC_{Ip} - Poder calorífico inferior, a pressão constante.

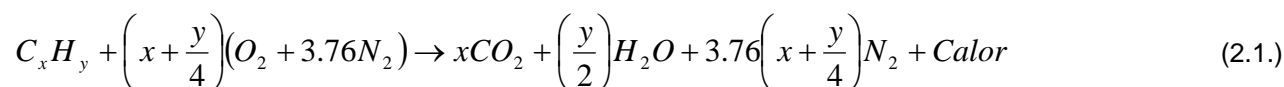
O valor do poder calorífico superior de um gás contabiliza-se quando nos produtos da combustão aparece água condensada, resultante da combustão do hidrogénio. Quando aparece vapor de água, então atingiu-se o valor do poder calorífico inferior. Assim sendo, a diferença entre estes dois valores é igual ao calor latente de vaporização da água.

Na Tabela 2.5., mostra-se o valor do poder calorífico superior para os combustíveis mais usuais:

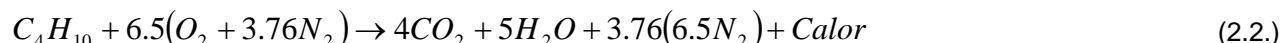
Tabela 2.5. Poder calorífico de alguns combustíveis.

<i>Combustível</i>	<i>Poder Calorífico Superior [Mcal]</i>	<i>Poder Calorífico Superior [MJ]</i>
1 kg de Propano	11.9	49.8
1 kg de Butano	11.8	49.4
1 kg de carvão	6.5 a 6.9	27.2 a 28.9
1 kg de lenha	3.0	12.6
1 L de petróleo	8.7	36.2
1 L de fuelóleo	10.3	42.9
1 L de gasóleo	9.1	38.1
1 L de gasolina	8.1	33.9
1 m ³ de gás de cidade	4.2	17.6

Para quantificar a combustão de hidrocarbonetos em ar, utiliza-se frequentemente a seguinte equação, para uma mistura estequiométrica (1):

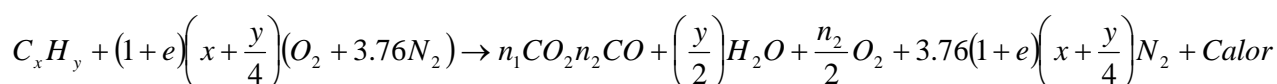


Ou, tomando como exemplo butano, teremos:



A esta reacção de combustão está associado um aumento do volume dos produtos, acrescido de uma outra expansão causada pelo calor gerado. Para cada unidade de volume de butano, ou propano, necessitamos de 30 ou 24 unidades de volume de ar, para que se realize uma combustão completa, ao mesmo tempo que gera 3 ou 4 vezes o seu volume em dióxido de carbono. Torna-se assim evidente a necessidade de uma ventilação adequada, quando se procede à queima de GPL em espaços fechados, caso contrário poderá haver o risco de asfixia para o utilizador, devido à insuficiência de oxigénio e à formação de dióxido de carbono.

Se considerarmos uma mistura não estequiométrica, temos que entrar em linha de conta com mais um coeficiente, que traduz a riqueza da mistura. Uma queima real, traduz-se por ser incompleta e com excesso de ar, onde resulta a seguinte alteração na equação (2.1.):



Com:

$$n_1 + n_2 = x$$

$$e = (1 - r)/r$$

e, excesso de ar

$$r = (CA)/(CA)_{esteq.}$$

r, riqueza da mistura

$$CA = m_{comb}/m_{ar}$$

CA, mistura combustível/ar

m_{comb} , massa do combustível

m_{ar} , massa de ar

O que resulta, em termos energéticos 44.5 g de CO₂ equivalente, para cada 1 MJ de energia útil.

2.4.2. Física dos GPL

Outro aspecto relevante é o facto dos GPL, no seu estado natural, serem incolores e inodoros. O cheiro característico e distinto que todos reconhecemos, deve-se ao facto de lhe ser adicionado um odorizante, cuja única razão é assegurar a sua identificação e detecção, em caso de fuga. Sendo, portanto, este um requisito muito importante, por razões de segurança, das instalações e utilizadores. O odorizante mais utilizado para esse efeito é *etil mercaptano*, produto com um odor distinto, mas que não afecta ou altera as características do GPL, nem a sua queima, (a legislação Portuguesa impõe, através da Portaria n.º 348/96 de 8 de Agosto, o valor mínimo de mercaptano para o GPL comercializado no nosso País. Esse valor é para mercaptanos 6 ppm, e para o caso específico de etil-mercaptano, 12 ppm). Quando o produto é queimado, o odor desaparece. O processo de adição de odorizante pode ser realizado aquando da produção, nas refinarias, ou nos parques de armazenagem e enchimento (em garrafas ou a granel). Nestes últimos, ainda podemos distinguir duas situações, adição de odorizante durante a recepção de GPL para os reservatórios, ou aquando da expedição em granel ou enchimento em garrafas.

Para perceber o comportamento dos gases de petróleo liquefeito e a sua relação com outros líquidos e gases, designadamente com o ar e com a água, é importante ter em consideração a sua massa, partindo para isso da forma mais usual de proceder a essa comparação, ou seja, utilizando a definição de *densidade da matéria*. A densidade de um líquido é, para um dado volume, a relação entre a sua massa e a massa de água que ocuparia esse volume de referência. Na Tabela 2.6. encontramos os valores da densidade para o Propano em fase líquida (0.508) e para o Butano (0.578).

A densidade de um gás é a comparação entre a sua massa, para um dado volume, e a massa desse volume quando ocupado por ar, (na definição da densidade dos gases utiliza-se como massa volúmica de referência o ar, que para as condições PTN (pressão e temperatura normais) corresponde a 1.293 kg/m³). No caso do Propano a sua densidade em fase gasosa é 1.568 e no caso do Butano 2.000. Estas relações, com o ar e com a água, ajudar-nos-ão em capítulos posteriores, a perceber o comportamento de uma fuga de GPL.

No quadro seguinte iremos apresentar um resumo das principais características dos GPL, entre os quais figuram o butano e propano.

Tabela 2.6. Resumo das principais características dos GPL mais comuns (Concawe, 1992).

<i>Designação</i>	<i>un</i>	<i>Propileno</i>	<i>Propano</i>	<i>Iso-Butano</i>	<i>n-Butano</i>
Fórmula química		C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀
Massa volúmica, líquido @ 15.6°C	[kg/L]	0.522	0.508	0.563	0.584
Volume específico @ 1 atm	[L/kg]	1.916	1.968	1.776	1.712
Densidade específica @ 15.6°C, 1 atm (ar=1)		1.481	1.568	2.066	2.091
Ponto de ebulição @ 1 atm	[°C]	-47.7	-42.1	-11.7	-0.5
Limites de explosividade @ 1 atm	[% vol]	2.4 – 11.0	2.0 – 9.5	1.8 – 8.5	1.5 – 8.5
Coeficiente de expansão líquido-gasoso @ 15.6°C, 1 atm	[L/L]	284	273	230	238
Pressão de vapor à temperatura de	[bar]				
-10 °C		3.9	3.3	1.1	--
0 °C		5.7	4.8	1.6	1.1
15.6 °C		8.8	7.4	2.7	1.8
30 °C		13.0	10.6	4.0	2.8
40 °C		17.0	13.8	5.5	3.9

Os gases de petróleo liquefeito, não afectam os metais, no entanto a utilização de alumínio é limitada a sistemas e equipamentos utilizados apenas nas fases gasosas e a garrafas de uso doméstico, de reduzido volume. Noutras substâncias não metálicas podem surgir reacções químicas com os GPL ou com algumas das impurezas presentes. Um exemplo desta reacção é a que se verifica com a borracha natural, que em contacto com o GPL torna-se esponjosa.

2.5. ARMAZENAGEM E MOVIMENTAÇÃO DE GPL

2.5.1. Armazenagem de GPL

Das vantagens que se podem apontar aos gases de petróleo liquefeito, destacam-se as suas faculdades no que diz respeito à armazenagem e transporte, devido à sua fácil liquefacção.

Para analisar o comportamento dos gases de petróleo liquefeito quando armazenados num recipiente fechado, iremos em seguida, analisar três situações em concreto:

- o efeito do aquecimento em substâncias em fase líquida;
- os pontos de ebulição dos líquidos, à pressão atmosférica;
- a armazenagem de líquidos em reservatórios fechados, acima do seu ponto de ebulição.

A melhor forma de perceber o efeito do aquecimento num líquido, é observando o caso concreto da água, para tal vamos tomar como ponto de partida, um litro de água em repouso num recipiente metálico sobre um fogão. Enquanto o fogão estiver desligado a água encontra-se à temperatura ambiente (digamos 15°C) e desde que não se transfira calor para a água, ela permanecerá a 15°C. Aquecendo esta água durante algum tempo, vamos provocar uma transferência de energia sob a forma de calor para a massa de água inicial, o que originará dois efeitos: uma expansão do volume ocupado e; um aumento da temperatura. Enquanto estivermos abaixo da temperatura de ebulição, à pressão atmosférica, um aumento do calor transferido para a água levará a um aumento de temperatura. Refira-se ainda que, a energia transferida para a água pode ser facilmente calculada, desde que nos encontremos abaixo da temperatura de ebulição. Para isso basta conhecer o peso do líquido e a sua temperatura em dado momento. Por definição, a *temperatura de ebulição* de um líquido é a temperatura a partir da qual um líquido passa ao estado gasoso, sob condições de pressão normal (reservatório aberto e ao nível médio das águas do mar). Atingido este ponto, a relação que se descreveu anteriormente entre volume ocupado e temperatura já não se mantém, uma vez que a partir deste ponto, independentemente da energia que se forneça, a temperatura mantém um valor constante. Assim, após a água estar a “fervor”, um aumento de calor (energia) não resultará num aumento de temperatura, quanto muito aceleraremos o processo de fervura. A energia fornecida será então utilizada para passar a água do estado líquido para o estado de vapor. Esta energia designa-se como *calor latente de vaporização*.

Este processo de mudança de fase pode ser representado no diagrama da Figura 2.15, pela linha de cor vermelha, dado que a pressão se mantém constante, tomando um valor igual à atmosférica (reservatório aberto).

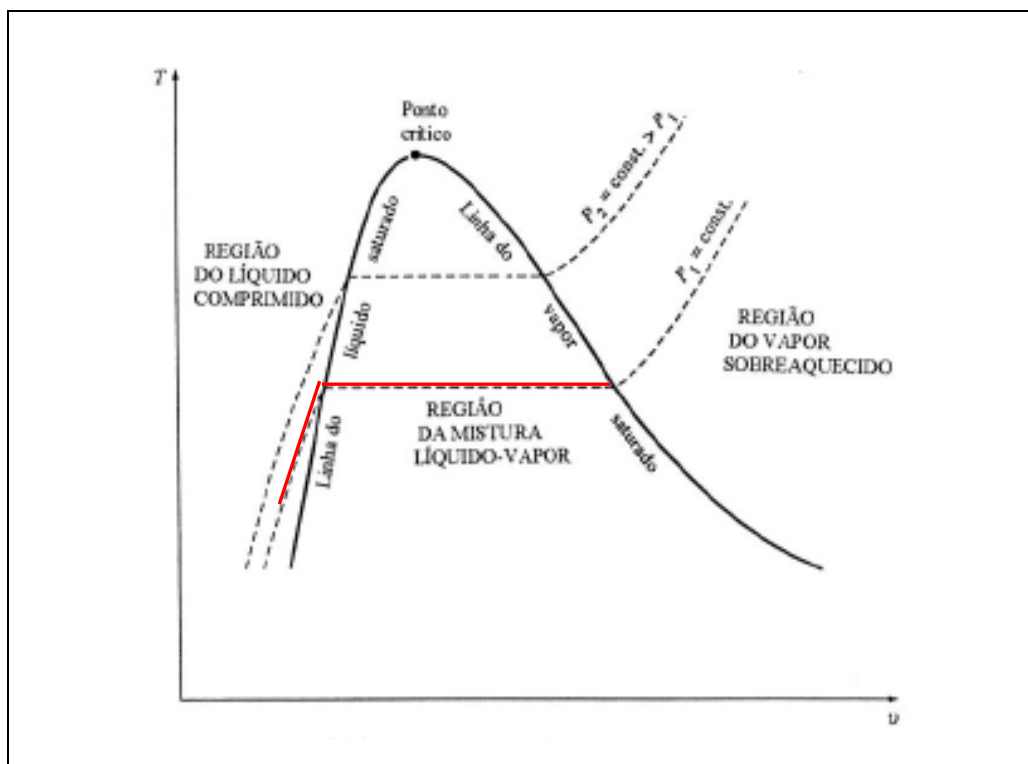


Figura 2.14. Diagrama T_v , do processo de aquecimento da água a pressão constante (Abbott, 1992).

Consideremos agora o mesmo recipiente da análise anterior, mas sem estar à pressão atmosférica, isto é, em vez de estar aberto, fechamo-lo. Neste caso, mesmo que se atinja uma temperatura superior à de ebulição, a água ainda não ferve, uma vez que, a pressão no interior do recipiente aumentou. O processo desenvolveu-se de forma idêntica ao descrito anteriormente (reservatório aberto), até ao ponto em que todo o espaço no interior do reservatório foi preenchido com vapor de água, a partir dessa altura a pressão aumenta e o processo de “fervura” cessa. A pressão crescente do vapor impede a continuação da passagem de mais água do estado líquido para o estado gasoso: dá-se um equilíbrio entre as duas fases. Se continuar-mos a adicionar calor ao nosso recipiente a água entrará novamente, num processo de fervura, isto é, dar-se-á um aumento de pressão até que haja novo equilíbrio com a temperatura. Quando se dá o disparo da válvula de segurança o que acontece é que se deixa escapar algum vapor de água para o exterior, baixando a pressão e iniciando novo processo de fervura, até que a temperatura do líquido se equilibre com o novo valor da pressão. Quando a válvula volta a fechar a pressão interna volta a aumentar. Sempre que a temperatura do líquido, a pressão interna e o calor fornecido atinjam um ponto de equilíbrio, a água deixa de ferver.

O GPL apresenta um comportamento semelhante ao descrito nos parágrafos anteriores para o caso da água. Desde que seja mantido abaixo da sua temperatura de ebulição, à pressão atmosférica,

permanecerá em estado líquido e pode ser armazenado num recipiente aberto. A questão com este produto é que a sua temperatura de ebulição é aproximadamente -0.5°C para o Butano e -45°C para o Propano à pressão atmosférica normal. Qualquer temperatura acima destes valores desencadeará a respectiva ebulição, passando a vapor em vez de líquido, razão pela qual tanto o Butano como o Propano são armazenados e transportados em reservatórios fechados e pressurizados. No interior desses reservatórios existem sempre duas fases em equilíbrio, que passaremos a designar por *Fase Líquida* e *Fase Gasosa*. Devemos ter ainda em atenção mais alguns aspectos relacionados com a armazenagem de GPL:

- O calor adicionado ao GPL contido num reservatório quer para transporte, quer para armazenagem, é transferido directamente do ar circundante a esse reservatório. Isto significa que, quaisquer factores atmosféricos, como calor, frio, chuva, neve, afectarão a temperatura da fase líquida e essas variações por sua vez, afectarão a pressão da fase gasosa, donde resulta que a pressão no interior de um reservatório pode variar ao longo de um dia, sem que tenha havido movimentação do produto.

- Tal como a água, o GPL expande-se quando fornecemos calor, a diferença é que a expansão de um GPL é muito maior que a observada no caso da água, para a mesma variação de temperatura, por exemplo o Propano em fase líquida expande-se cerca de 17 vezes mais do que o mesmo volume de água. Deste facto deriva a necessidade de se impor um nível máximo para o enchimento dos reservatórios, que corresponde a uma percentagem do seu volume total, (no caso dos recipientes para transporte de butano é usual tomar como valor máximo 80% da capacidade do reservatório) deste modo, deixamos espaço suficiente para permitir a expansão do gás em fase líquida, face às variações de temperatura, sem submeter os reservatórios a pressões que possam colocar em risco a sua integridade.

- Devido às alterações no volume da fase líquida, bem como às altas pressões de armazenagem, os reservatórios para GPL são equipados com válvulas de segurança. Caso a pressão no interior do reservatório atinja um determinado valor, a válvula abre fazendo baixar a pressão até níveis seguros, (em relação ao dimensionamento das válvulas de segurança, ver o descrito na NFPA 58, onde se toma em linha de conta não apenas o produto e pressão de abertura e fecho, mas o caudal necessário para permitir em segurança o alívio da pressão pretendido). Desta forma consegue-se garantir que o valor da pressão, da fase gasosa, nunca atinge a pressão de ruptura dos reservatórios de armazenagem.

- Como resultado da ebulição, um pequeno volume de GPL em fase líquida origina um volume muito maior de fase gasosa, por exemplo, 1m^3 de Propano em fase líquida dá origem a cerca de 270m^3 de fase gasosa. Assim, uma fuga em fase líquida, por um orifício origina um caudal muitíssimo maior que na fase de vapor. Consequentemente, de forma recíproca, aquando da sua liquefacção, reduziremos na mesma proporção o volume ocupado. Como exemplo, se considerarmos 1 L de butano, em fase líquida, este volume poderá expandir-se produzindo 233 L de fase gasosa, que, a uma concentração no ar de 5%, resultará em 4660 L de uma atmosfera altamente explosiva.

2.5.2. Movimentação de GPL

Considerando as várias operações e processos, associados à movimentação de GPL, num parque de armazenagem e enchimento, iremos de seguida abordar as formas típicas de transferência de produto.

A primeira forma consiste em realizar transferência tirando partido do diferencial de pressão entre os dois reservatórios, por acção da gravidade. Vejamos o exemplo da Figura 2.16, neste caso, estando o reservatório RP1 a uma pressão p_1 , e o RP2 a uma pressão p_2 , menor que p_1 , bastará que se ligue fisicamente os dois reservatórios para que se consiga uma passagem de produto no sentido da maior para a menor pressão, até que se atinja a mesma pressão em ambos os reservatórios. Neste caso a transferência de produto far-se-á em fase líquida.

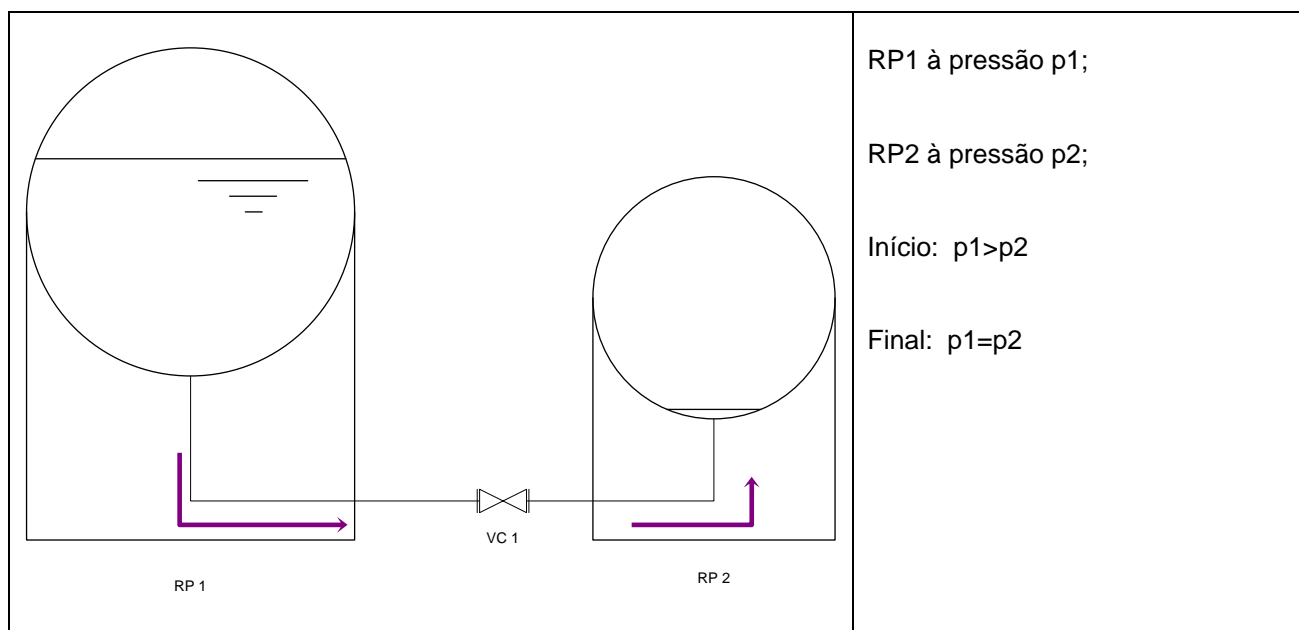


Figura 2.16. Transferência de GPL na fase líquida, por diferença de pressão ou por gravidade (adaptado de NFPA, 2001).

Uma alternativa à configuração anterior, consiste em introduzir um equipamento que, independentemente das pressões de cada reservatório, consiga que a transferência se efectue. No caso

mais simples, vamos supor que, a pressão no reservatório que irá receber o produto não atinge valores significativos, isto é, que não comprometem a integridade física do mesmo. Na Figura 2.17, mostra-se um exemplo simples de uma ligação entre dois reservatórios, utilizando uma bomba de GPL. Este é o método mais simples, e é o utilizado por exemplo, nas linhas de produção de enchimento de garrafas de gás.

Note-se que, os reservatórios envolvidos nestes processos, são fechados, o que significa que, a pressão no reservatório receptor vai aumentar ao longo da transferência. Assim sendo, poderá haver necessidade de, efectuar uma ligação entre as fases gasosas dos reservatórios, para que se dê um equilíbrio de pressões, facilitando desta forma o processo de transferência.

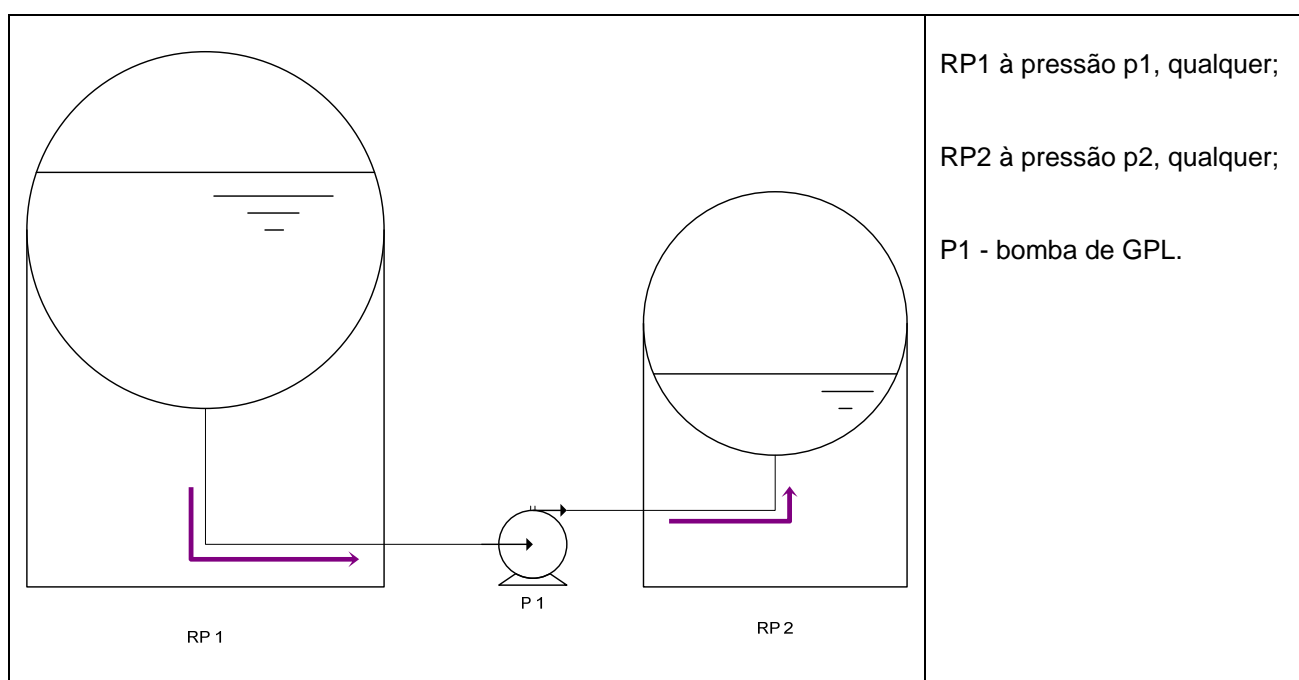


Figura 2.17. Transferência de GPL na fase líquida, por bombagem (adaptado de NFPA, 2001).

Outro equipamento que pode ser utilizado neste tipo de transferências é o compressor, sendo, neste caso, a movimentação impulsionada pela fase gasosa. Verifiquemos então o exemplo da Figura 2.18, onde se utiliza um compressor para aspirar do reservatório que vai receber produto e comprimir para o reservatório que vai libertar produto. Esta operação, tem como objectivo proporcionar um diferencial de pressões que “forcem” a trasfega de GPL em fase líquida no sentido do reservatório RP1 (para o qual se está a efectuar a compressão) para o RP2 (do qual se está a aspirar).

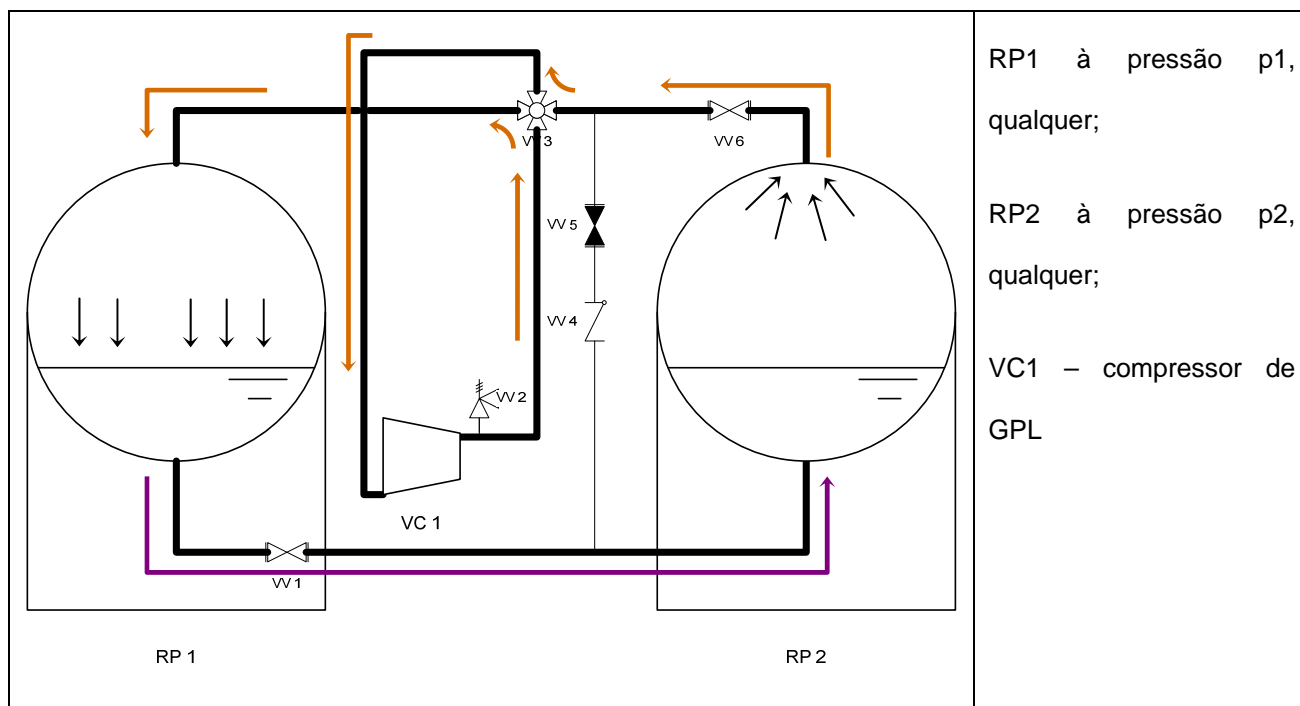


Figura 2.18. Transferência de GPL na fase líquida, utilizando um compressor (adaptado de NFPA, 2001).

Outra configuração possível seria proceder à trasfega apenas fazendo uso dos circuitos de fase gasosa, conforme se mostra no exemplo da Figura 2.19. Assim, a depressão criada no RP1, pela aspiração do compressor, iria forçar a passagem do produto nele contido, da fase líquida para a gasosa, que seria posteriormente comprimido para o reservatório de recepção, RP2. Ter-se-ia atenção às pressões de um e outro reservatórios durante este processo, uma vez que entre estes não existe linha de equilíbrio.

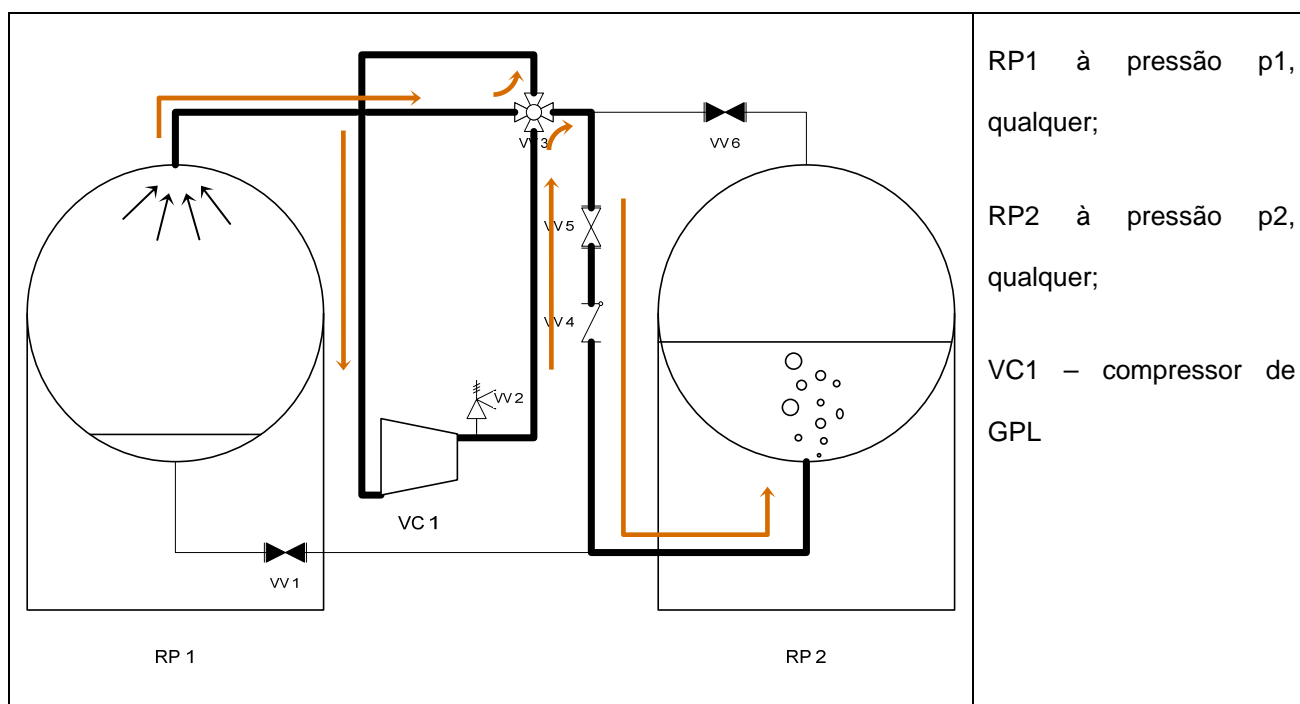


Figura 2.19. Transferência de GPL na fase gasosa, utilizando um compressor (adaptado de NFPA, 2001).

A injeção de produto pela parte inferior do reservatório, fazendo-o borbulhar pelo líquido é vantajosa em relação à entrada pela parte superior, directamente para a fase gasosa, uma vez que permite o arrefecimento do produto, facilitando desta forma a respectiva condensação ao mesmo tempo que não fará aumentar tanto a pressão.

Uma das diferenças entre estes dois últimos processos é novamente a questão do equilíbrio de pressões, que é realizada no primeiro caso, mas não no segundo.

A bombagem de GPL em fase líquida (processo exemplificado na Figura 2.17) é normalmente o método mais usual em operações como a carga de cisternas fixas ou móveis, transferência entre reservatórios intermédios de armazenagem, recepção de produto nas instalações, quer por navio butaneiro, quer por oleoduto ou mesmo para o enchimento de reservatórios com capacidades mais pequenas (como são exemplo as garrafas domésticas de gás). Quaisquer que sejam os métodos utilizados, quer fazendo uso de compressores, quer de bombas, é importante o adequado dimensionamento das capacidades, a par das tubagens e das válvulas de excesso de débito ou de segurança, por forma a garantir a adequada qualidade e a necessária segurança na manipulação deste produto.

Tomando como exemplo os equipamentos que referimos nos processos descritos acima, vamos em seguida apontar algumas das particularidades construtivas para o funcionamento com os gases de petróleo liquefeito, que nos permitirão, em capítulo posterior, perceber os tipos de equipamentos que podem ser potenciais fontes de emissões fugitivas, que por sua vez poderão formar atmosferas potencialmente explosivas.

A norma da *National Fire Protection Association*, NFPA 58, específica para os Gases de Petróleo Liquefeito, impõe determinados requisitos aos equipamentos destinados à operação com este produto, que deverão ser “construídos com material que seja compatível com o GPL sob as condições de funcionamento”, (NFPA 58, 2004). Além disso, os invólucros metálicos destinados a contenção de pressões deverão respeitar determinados valores relativamente ao tipo de material de construção, tendo em conta limites para a resistência à corrosão, ductilidade, dureza da superfície e tipo de grão. Em relação às pressões de cálculo dos equipamentos impõem-se determinados valores mínimos, que têm em conta pressão de serviço do equipamento e a fase em que se realiza a movimentação (Fase Líquida ou Fase Gasosa).

a) Bombas de GPL

As bombas são dos equipamentos usados mais extensivamente na indústria petrolífera, designadamente para a movimentação de líquidos. A NFPA 58, refere explicitamente que as “bombas devem ser concebidas para o funcionamento com GPL”, (NFPA 58, 2004). Com isto o que se quer dizer é que a concepção e/ou selecção deste tipo de equipamentos, deve garantir que o seu funcionamento com GPL, seja satisfatório. O intervalo de pressões de funcionamento é importante, na medida em que, estando este equipamento a funcionar com gás liquefeito, um pequeno abaixamento na pressão provocará a passagem a vapor, provocando danos que podem ser irreversíveis na própria bomba. Assim, as bombas para o funcionamento com GPL serão de deslocamento positivo, ou de alguns tipos especiais de bombas centrífugas.

Estes equipamentos podem apresentar fugas no ponto de contacto entre o veio rotativo e a caixa, onde são montados vedantes, de forma a evitar o contacto do fluido a movimentar com o ambiente exterior.

A Figura 2.20. mostra duas bombas típicas utilizadas em Parques de armazenagem para a movimentação de GPL.

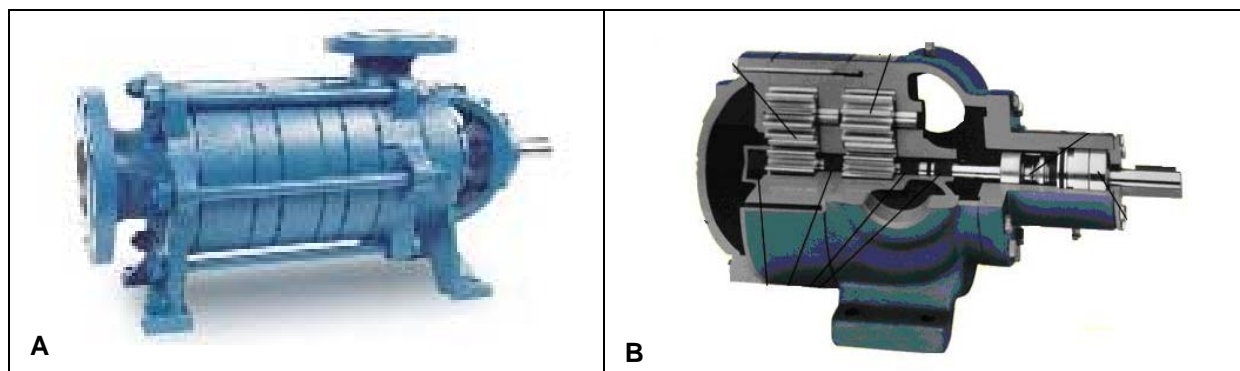


Figura 2.20. Bombas de GPL: A) *Sterling SIHI, CEH*, (Sterling, 2007); B) *Smith, MC2*.

b) Compressores de GPL

Equipamentos de extrema versatilidade, os compressores fornecem “trabalho” para impulsionar gás através de um processo ou instalação, de forma semelhante às bombas para o caso dos líquidos. A sua actuação exclusivamente na fase gasosa do produto, proporcionam alterar as pressões, promovendo a deslocação do líquido ou forçando-o a mudar de fase. A Figura 2.21. mostra um exemplo de um compressor de GPL largamente utilizado na indústria do GPL, quer em instalações fixas, quer em meios de transporte (veículos cisterna).

O seu tipo de construção deverá ser apropriado para o funcionamento com GPL, uma vez que a generalidade dos compressores não apresenta sistemas de vedação adequados a prevenir fugas de gás. A seu processo de fabrico deverá ainda prever a instalação de equipamentos auxiliares, que permitam limitar a pressão de aspiração a valores máximos admissíveis para o tipo de construção.

Uma vez que os líquidos, onde se incluem os gases de petróleo liquefeito, são incompressíveis, a admissão na tubagem de aspiração de um compressor causaria danos, por esse motivo, a instalação de dispositivos que impeçam a entrada de GPL em fase líquida é essencial.



Figura 2.21. Compressor de GPL Corken – *D891 Double-Acting* (Corken, 2004).

c) Válvulas

As válvulas são dos equipamentos utilizados em maior número na indústria petrolífera, e consequentemente nas instalações de armazenagem e movimentação de GPL. Órgãos de comando e seccionamento, por excelência, a sua actuação permite o encaminhamento ou a restrição à passagem do fluído nas diversas manobras a desenvolver.

As válvulas apresentam-se sob variadas formas e tipos de actuação, no entanto para GPL as mais utilizadas são válvulas de macho cónico ou esférico, uma vez que o seu desempenho é superior às restantes. Quanto ao modo de actuação, estes equipamentos podem ser actuados localmente, com intervenção humana, como de forma remota, quando acoplados a motores pneumáticos, hidráulicos ou mesmo eléctricos.

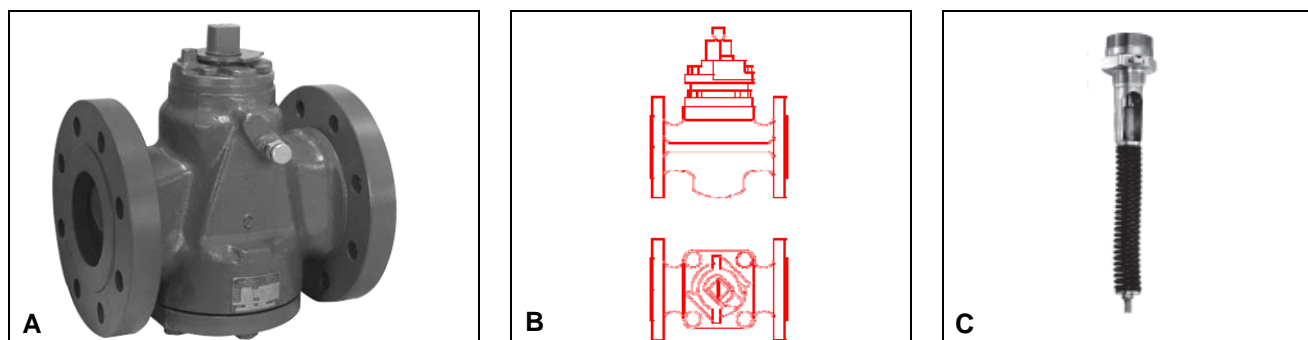


Figura 2.22. Válvulas de GPL: A) Audco SuperH; B) Audco; C) Rego 7634.

Tipicamente as fugas nas válvulas acontecem na zona de vedação entre o macho móvel e a sede, onde normalmente é instalado um *o-ring*. Podem ainda acontecer fugas pelas ligações da válvula às tubagens, já que esta ligação é flangeada e apertada com pernos.

Dentro desta categoria existe um grupo que convém distinguir: as *válvulas de segurança* ou de *alívio de pressão* (como exemplo mostra-se na Figura 2.22 c), uma válvula de segurança utilizada em reservatórios de armazenagem de GPL). Este tipo de válvulas têm como objectivo o alívio de pressão em determinados pontos (ex: reservatórios e tubagens), evitando que o aumento excessivo danifique as estruturas onde se encontram instaladas. As válvulas de segurança mais comuns têm como princípio de funcionamento, uma mola que mantém a válvula fechada até que se atinja o valor pré definido para a abertura, efectuando dessa forma o pretendido alívio da pressão. Uma vez que o princípio de funcionamento destes equipamentos está relacionado com o escape de produto, a sua actuação não é considerada como sendo uma fuga no sentido que pretendemos conferir a este trabalho. No entanto, este dispositivo pode apresentar fugas na vedação, por deterioração do tampão que a mantém na posição de “fechada”, e essas iremos considerar.

d) Flanges e ligações

Neste grupo de equipamentos iremos incluir todo o tipo de ligações, que definiremos como um acessório que serve para juntar fisicamente dois segmentos de tubagem e/ou componentes. Esta definição apenas exclui as uniões por soldadura, que assumiremos isentas de fuga, e inclui as ligações flangeadas e roscadas entre equipamentos, troços de tubagem e flexíveis, bem como os pontos de amostragem, e picagens de instalação de instrumentação. As uniões soldadas, em tubagens de GPL são por norma

sujeitas a verificação da eficiência por exame radiográfico, tipicamente efectuada a 100% do cordão de soldadura para tubagens enterradas e a 40% do cordão de soldadura para tubagens à vista. Esta verificação deve ser efectuada por entidade certificada.

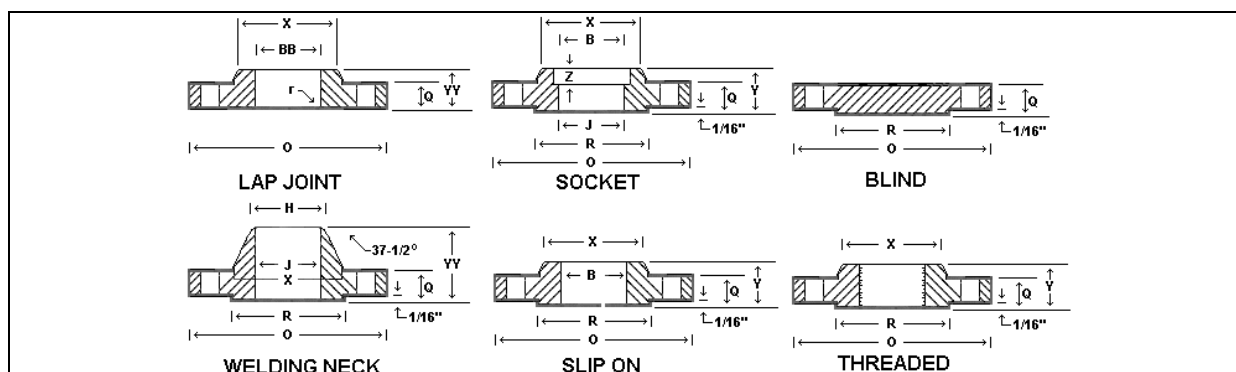


Figura 2.23. Representação esquemática de vários tipos de flanges, utilizadas nas tubagens de GPL (Thermometrics, 2007).

2.6. REFERÊNCIAS NORMATIVAS NA ÁREA DAS ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

Dando sequência ao enquadramento referido no ponto 1.3 do presente trabalho, onde se descreveu a evolução dos esforços da Comunidade Europeia, no sentido de adopção de critérios e práticas comuns para a temática das atmosferas explosivas, referiremos de forma evolutiva, alguns dos textos que foram sendo criados por organismos de normalização sobre este assunto.

A necessidade de definição de critérios que permitissem a adopção de medidas de protecção associadas às atmosferas explosivas surgiu inicialmente na indústria mineira, onde a presença de metano originava atmosferas explosivas. Foi ainda neste contexto que surgiram os primeiros equipamentos com protecções antideflagrantes, e em 1926 a *British Standards Institution* publica a *BS 229 – Flameproof Enclosure of Electrical Apparatus*, revista posteriormente em 1946, para estender os conceitos a outros gases além do metano. Em 1948, esta organização lança o primeiro *Code of Practice* que aplica os conceitos de equipamento antideflagrante para outras áreas da indústria. Ainda em 1946, o *Institute of Petroleum* faz a primeira abordagem às áreas potencialmente explosivas, num guia destinado à área eléctrica, distinguindo a “*dangerous area*” e a “*safe area*”.

Quase paralelamente, nos Estados Unidos, desenvolviam-se também metodologias para a abordagem ao controlo de fontes de ignição em atmosferas explosivas. A *National Fire Protection Association*, em 1936, desenvolve um projecto sobre o tema da electricidade estática que foi adoptada oficialmente em

1941. Em Setembro desse mesmo ano, a indústria americana de metalomecânica e maquinaria industrial, apresenta a sua primeira norma que visava o fabrico de equipamentos mais seguros, mais produtivos, com menos custos de manutenção e apontava práticas no sentido da melhoria do desempenho dos componentes eléctricos. Esta norma, em particular, vigorou como uma das designadas “War Standard” (NFPA 79, 1997). Mais tarde, a mesma daria origem à NFPA 79 – *Electrical Standard for Industrial Machinery*, e integrava preocupações associadas ao funcionamento em áreas com potencial para riscos de incêndio. Em 1955, especificamente para o sector petrolífero, é publicado o RP 500 - *Recommended Practice for Classification of Areas for Electrical Installations in Petroleum Refineries*.

Dez anos mais tarde, em 1965, também o *Institute of Petroleum*, no seu *Electrical Safety Code* (amplamente conhecido sob a designação de IP1), então na sua 3ª edição, faz referência a “remotely dangerous area”, introduzindo desta forma o conceito de atmosfera explosiva. Ao que se seguiram, em 1971, a BS4683, sobre requisitos para equipamentos eléctricos usados em atmosferas explosivas, em 1976, a BS5345, que define os requisitos para a selecção, instalação e manutenção de equipamento eléctrico em uso em atmosferas potencialmente explosivas, bem como na sua parte 2, apresenta um esquema de classificação de áreas perigosas.

Actualmente, podemos encontrar em vigor vários documentos com diferentes perspectivas, que abordam a temática da classificação de áreas com atmosferas potencialmente explosivas, das quais destacamos as seguintes:

- IP: Institute of Petroleum (UK) – *Area Classification. Model Code of Safe Practice. Part 15*, genericamente conhecido como IP15.

- API: American Petroleum Institute (USA) – *Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2*, genericamente conhecido como API500.

- IMO: International Maritime Organization – *Code for the construction and equipment for mobile offshore drilling units*, mais conhecido como MODU.

- DNV: Det Norske Veritas – *Offshore installations technical note B302: area classification and ventilation*.

Dado este cenário, os esforços que vêm sendo desenvolvidos no espaço da Comunidade Europeia, revestem-se de uma grande importância, considerando a necessidade de, partindo de pontos de vista aceites de uma forma transversal por todas as organizações que têm desenvolvido trabalhos nesta área, encontrar uma perspectiva comum, que permita uma uniformização de critérios, como salvaguarda da adopção das mesmas práticas operativas, ao mesmo tempo que constituem uma garantia de requisitos comuns para a concepção, fabrico e comercialização de equipamentos para operação em atmosferas potencialmente explosivas.

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

3.1.1. Envolvente física

Nesta parte do trabalho iremos ter como base, para o desenvolvimento das simulações, o Parque de GPL da SAAGA – Sociedade Açoreana de Armazenagem de Gás, S. A., situado na Nordela, ilha de S. Miguel – Açores. Para isso começaremos por fazer uma breve caracterização da sua localização e envolvente.

O Parque situa-se na cidade de Ponta Delgada, ilha de S. Miguel, arquipélago dos Açores. Encontra-se posicionado sensivelmente a cerca de 2.5km a Sudoeste do centro da cidade e a 300m a Sul da pista do aeroporto João Paulo II, em Ponta Delgada. De acordo com o parecer dos Serviços de Recursos Hídricos da Região Autónoma dos Açores, datado de Agosto de 1997, a zona de beira mar, próxima do Parque, é limitada por uma falésia rochosa, não sendo conhecidos acidentes tectónicos maiores na zona, nem estruturas aquíferas importantes, apresentando um nível freático muito próximo do nível das águas do mar. (Figura 3.1.)

O Parque tem uma extensão aproximada de 27 500 m², e encontra-se dividido em quatro áreas: armazenagem de GPL, enchimento de garrafas, enchimento de carros cisterna, e edifícios administrativos e de apoio.



Figura 3.1. Mapa de localização do Parque de GPL da Nordela, da SAAGA (<http://sigweb.mpdelgada.pt/geoportai>).

3.1.2. Condições geológicas

Os dados disponíveis têm como base um estudo geotécnico efectuado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Outubro de 1969 (data do início da construção do Parque), e revelam que os terrenos onde este se encontra implantado, apresentam na sua constituição uma camada superficial de terra siltosa (com granulometria bastante reduzida) amarelada relativamente pouco compacta, com cerca de 2.5m de espessura, ao que se segue uma pequena camada de pedra basáltica alveolar com uma espessura de 1.2m. A estas camadas segue-se uma outra, de basalto menos poroso e por vezes perfeitamente compacto, até uma profundidade de 25m. O que permite concluir que se dispõe de um maciço rochoso praticamente indeformável, para as cargas que lhe são transmitidas.

De acordo com o disposto no Decreto-Lei n.º235/83, de 31 de Maio, designadamente o seu artigo 28º, relativo à classificação quanto à sismicidade para Portugal, o local de implantação do Parque de GPL da Nordela, dada a sua localização na ilha e no arquipélago, encontra-se numa *zona A*, o que significa que a severidade destes fenómenos é elevada.

3.1.3. Características climáticas

De acordo com valores da Delegação Regional dos Açores do Instituto de Meteorologia (IM, 2006), relativos ao período de 1970 a 1990, para Ponta Delgada, as temperaturas médias do ar situam-se em 16.8°C, verificando-se ainda que a média dos valores mínimos não é inferior a 10.7°C. A Tabela 3.1., mostra as médias mensais, para a temperatura e humidade relativa do ar, referentes ao período de 1990 a 1994.

Tabela 3.1. Resumo dos valores médios mensais de temperatura e humidade.
Observações para Ponta Delgada (Aeroporto), no período de 1990 a 1994, das 00:00 às 23:00 horas (INMG, 1995).

<i>Mês</i>	<i>Humidade Relativa média [%]</i>	<i>Temperatura média do ar [°C]</i>
Janeiro	82.3	13.8
Fevereiro	81.3	13.4
Março	82.0	13.9
Abril	79.7	14.3
Maio	81.3	15.8
Junho	81.3	17.9
Julho	80.3	20.2
Agosto	80.3	21.4
Setembro	80.7	20.7
Outubro	81.3	18.5
Novembro	82.0	16.5
Dezembro	82.3	14.9

Em relação à velocidade do vento, os valores disponíveis respeitam a observações para o período de Janeiro de 1990 a Dezembro de 1994, e indicam uma predominância do quadrante NNE e N, com cerca de 12.1% e 10.8% do total das observações, para os quais correspondem valores de velocidades médias de 13.6 km/h e 13.0km/h, respectivamente. Outro dado significativo é o associado aos valores de maior intensidade observada, que não correspondem às situações anteriores, mas têm como origem o quadrante oposto (de WSW a S), onde foram registadas, frequências na ordem dos 4% a 6%.

No que diz respeito à estabilidade atmosférica, a recolha existente sobre este parâmetro, permitiu elaborar a Tabela 3.2., de onde se pode verificar que a classe de estabilidade predominante é a D (estabilidade neutra), embora se registem ocorrências das classes E e F, respectivamente em 15.12% e 13.49% das observações. Em relação ao maior valor da velocidade média do vento (~20 km/h) observou-se para a classe de estabilidade predominante.

Tabela 3.2. Resumo dos dados relativos à estabilidade atmosférica.
Observações para Ponta Delgada (Aeroporto), no período de 1990 a 1994, das 00:00 às 23:00 horas (INMG, 1995).

<i>N.º de observações</i>	<i>Classe de Estabilidade</i>	<i>Frequência [%]</i>	<i>Velocidade média do vento à superfície [km/h]</i>
13578	A	0.17	8.1
13578	B	3.55	10.2
13578	C	11.47	12.9
13578	D	53.84	19.9
13578	E	15.12	10.5
13578	F	13.49	7.2
13578	G	2.36	5.0

3.1.4. Selecção dos equipamentos

As potenciais fontes de fugas em Parques de armazenagem e enchimento de GPL e respectivas infra-estruturas/equipamentos, podem ser diversas. As situações que discriminamos neste trabalho correspondem às mais comuns. Cox *et al.*, 2003, no estudo realizado sobre este assunto, apresentam um Parque equivalente, ou padrão, para o qual extrapolaram a probabilidade dos equipamentos que o constituem apresentarem fugas. Da interpretação desses resultados, concluímos que os equipamentos que apresentam uma probabilidade mais elevada, correspondem aos que são utilizados mais frequentemente nos vários processos e que integram a grande parte das operações, estando por isso sujeitos a um regime de funcionamento/utilização mais severo, o que proporciona uma maior propensão para o aparecimento de fugas. São estes: bombas; compressores; válvulas de corte e seccionamento; e ligações flangeadas.

No âmbito da definição das zonas ATEX, as distâncias resultantes têm por base a prevenção da ignição da atmosfera que delimitam, para as fugas típicas associadas ao funcionamento “normal” dos equipamentos, das actividades operacionais do Parque, bem como as associadas a operações de manutenção. Assim sendo, não podem ser consideradas aquando da ocorrência de fugas catastróficas (caso dos acidentes industriais graves, AIG), uma vez que nessas situações os pressupostos são diferentes, porque resultantes de causas diferentes: acidentes. Na Tabela 3.3., apresentam-se os valores típicos da pressão e temperatura para os equipamentos mais relevantes num Parque de armazenagem e enchimento de butano.

Tabela 3.3. Condições de funcionamento, normais e limite, de pressão e temperatura para alguns equipamentos.

<i>Equipamento</i>	<i>Condições normais</i>		<i>Condições limite</i>	
	<i>P [kg/cm²]</i>	<i>T [°C]</i>	<i>P [kg/cm²]</i>	<i>T [°C]</i>
Reservatórios de armazenagem	2	15	7.7	-20 a 50
Tubagens	2	15	26	-20 a 50
Válvulas	2	15	2.6	-20 a 50
Bombas	10	15	26	-20 a 50
Compressores	5	15	26	-20 a 50

3.2. SELECÇÃO DO MÉTODO

As situações decorrentes de acidentes industriais graves, pelo seu impacto e consequências, têm merecido uma atenção particular por parte das autoridades que, mercê dessa intervenção, têm possibilitado a investigação, não só ao nível das consequências (na respectiva da mitigação), mas ao nível da previsão de cenários que traduzam o comportamento de uma libertação de produtos, em termos das consequências mais danosas: incêndio, explosão, contaminação e toxicidade. Como resultado, existem já programas informáticos que abordam o alcance e as consequências de tais cenários, que recorrem a modelos de análise da dispersão. A modelação destas dispersões assenta no objectivo primário de, conhecidas todas as variáveis de entrada, estimar as concentrações para pontos situados a jusante da origem da libertação.

Para o âmbito em que este trabalho se insere, importa perceber a validade da aplicação dos mesmos modelos, uma vez que a ordem de grandeza, em termos de quantidades libertadas, que se traduzem posteriormente em distâncias ao ponto de fuga, são inferiores de uma a duas ordens de grandeza.

Em termos genéricos, uma dispersão de uma nuvem de gás (com uma densidade superior ao ar) assume um comportamento que nos permite distinguir quatro fases, ou regiões (Dandrieux *et al*, 2006), conforme se pode verificar no esquema da Figura 3.2.:

- (1) - Uma região de expansão, situada imediatamente após o ponto de libertação. Esta zona corresponde ao jacto de substância que é libertado;

(2) - Uma região de decaimento, onde se faz sentir o efeito da força gravítica sobre a nuvem, concentrando-a mais próxima do solo;

(3) - Uma região de transição;

(4) - Uma região em que a nuvem está sob o domínio das variáveis atmosféricas, dando-se uma dispersão passiva.

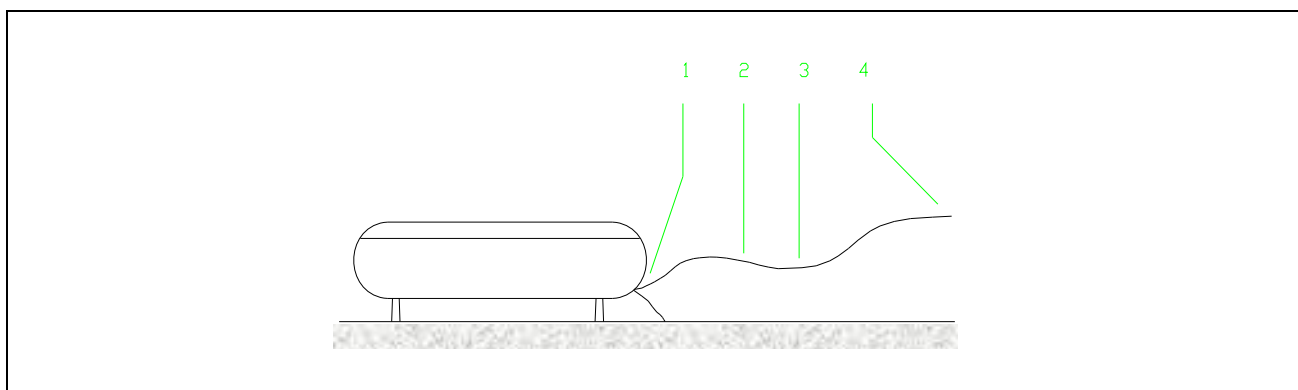


Figura 3.2. Representação esquemática das fases da libertação de um produto com densidade superior ao ar (Adaptação de Dandrieux *et al*, 2006).

Segundo o mesmo estudo, os modelos de dispersão podem ser classificados segundo 3 categorias, os Gaussianos; os modelos de “caixa”; e os modelos tridimensionais ou da mecânica dos fluidos computacional. Cada um destes grupos tem um domínio de aplicação, mais ou menos bem definido: os modelos gaussianos são específicos para dispersão passiva, sendo utilizados nos gases de densidade superior, para essa fase. Estes modelos têm como pressuposto que a concentração no interior da nuvem, segue uma distribuição gaussiana, cujo desvio padrão está dependente das condições atmosféricas (turbulência) e da distância à origem. Estes modelos apresentam uma boa resposta para distâncias superiores a 100m da origem da libertação.

Os modelos de “caixa”, vêem a nuvem gasosa como algo uniforme. Utilizam-se particularmente para o tratamento de gases de densidade superior à do ar, nas fases 2, 3 e 4, decaimento, transição e dispersão passiva.

Os tridimensionais baseiam-se na resolução de equações de conservação de massa e momento e energia, podem ser utilizados para caracterizar a dispersão de nuvens quando na presença de

constrangimentos no terreno ou obstáculos, podendo ser aplicados com qualquer tipo de gás, independente da densidade.

Como se disse, estes modelos têm vindo a ser utilizados quando se pretendem realizar estudos envolvendo grandes quantidades de substâncias libertadas, e onde o objectivo essencial é a avaliação da dispersão das nuvens explosivas ou tóxicas para grandes distâncias. No entanto, quando se pretende utilizá-los para libertações de pequenas quantidades e para distâncias reduzidas, os resultados obtidos utilizando estas equações, vêm acrescidos de um certo erro. No estudo citado, a equipa de *Dandrieux* conduziu algumas experiências, comparando as respostas obtidas através de modelos do tipo caixa e do tipo gaussianos, com medições efectuadas num campo de testes, para tentar determinar qual o que mais se ajustaria ao observado na realidade. No essencial, as conclusões deste estudo experimental apontam para um melhor desempenho do modelo gaussiano sobre o de caixa, não obstante a dificuldade de ambos em modelar o comportamento da libertação nas fases de transição, onde foram registados os valores de erro mais elevados.

Embora a aplicação de modelos numéricos tridimensionais representassem, dado o seu melhor desempenho, uma mais valia no estudo das libertações no âmbito do presente trabalho, não recorreremos à sua utilização, dadas as limitações de tempo e a complexidade que tal opção implica. Assim, nas simulações que efectuaremos no capítulo 4 deste trabalho, para analisar o comportamento da dispersão das fugas de butano, utilizaremos um modelo gaussiano usado no estudo de dispersão de plumas (nuvem de partículas).

3.3. DEFINIÇÃO DAS EQUAÇÕES E CONSTRANGIMENTOS

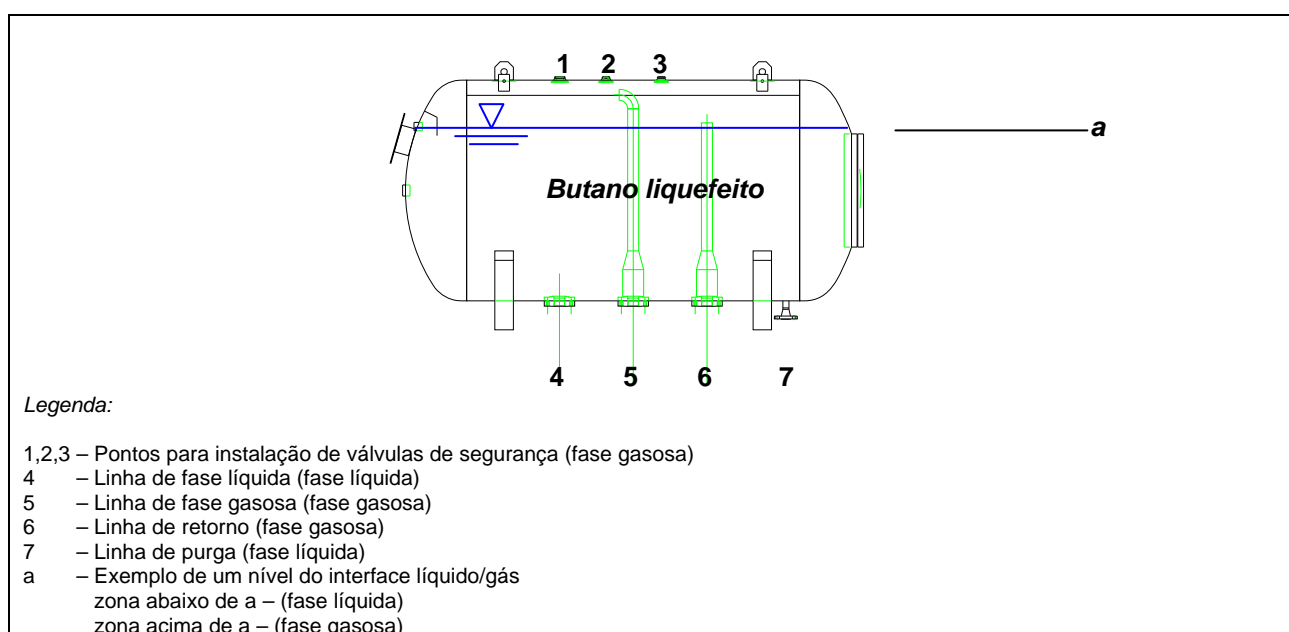
3.3.1. Caracterização da libertação

As equações matemáticas que permitirão efectuarmos a modelação do comportamento de uma libertação de GPL para a atmosfera dependem de algumas variáveis, (Cox *et al.*, 2003) sendo as mais relevantes as listadas na Tabela 3.4. Considerando as propriedades do fluído em causa (butano) e os equipamentos seleccionados, que agrupam tanto estruturas de armazenagem, como sistemas de trasfega, identificaram-se os valores que essas variáveis podem assumir.

Tabela 3.4. Caracterização da libertação.

1.	<i>Estado em que se dá a libertação (emissão)</i>
	a. Fase Gasosa
	b. Fase Líquida
2.	<i>Velocidade de emissão</i>
	a. Baixa
	b. Elevada
3.	<i>Estado do fluído em fase líquida</i>
	a. Pressurizado (sobreaquecido)
4.	<i>Densidade do fluído libertado</i>
	a. Mais denso que o ar
5.	<i>Duração da fuga</i>
	a. Instantânea
	b. Quase instantânea
	c. Contínua

A título de exemplo, representa-se na Figura 3.3., um reservatório de armazenagem numa das suas configurações típicas, onde se podem identificar possíveis pontos de libertação de produto e a sua relação com o respectivo estado físico.

**Figura 3.3.** Exemplo de situações de fuga num reservatório de armazenagem de GPL.

Velocidades dos escoamentos

a) Liberação de produto em fase gasosa

Quando a velocidade de emissão assume um valor reduzido, a liberação caracteriza-se pela baixa quantidade de movimento das partículas do fluido, pelo que, à medida que se afastam do ponto de escape, formam uma pluma, diluindo-se no ar, de acordo com a velocidade relativa do ar na zona de escape. Relativamente à distância ao solo, a pluma que se forma, vai evoluindo de acordo com a direcção do vento, e a densidade do gás. No nosso caso, dada a maior densidade do butano em relação ao ar, na ausência de vento, observaremos um abaixamento dessa pluma.

Quando a velocidade de emissão toma um valor elevado, formar-se-á um jacto que, por transferência de quantidade de movimento, diluir-se-á no ar. De acordo com a configuração do ponto de libertação, designadamente da geometria da respectiva área transversal, observaremos a formação de um jacto de forma cónica, radial ou planar, imediatamente após a libertação, já que a velocidade da emissão sobrepõe-se, nessa fase, à velocidade do ar circundante. À medida que as partículas do gás se afastam do ponto de libertação, perdem velocidade e diluem-se no ar, ao mesmo tempo que passam a acompanhar a direcção do vento. Nesta última fase, a densidade relativa do produto libertado, em relação ao ar, não é considerada relevante, uma vez que se encontram misturados a concentrações muito baixas. (CETIB, 2004)

b) Liberação de produto em fase líquida

No caso do produto se encontrar em fase líquida, assume um comportamento característico de uma libertação de um gás liquefeito sob acção da pressão. No ponto de escape, observa-se uma vaporização parcial instantânea, ou descompressão instantânea (*flashing flow*). A porção que não sofre este efeito *flash*, acumular-se-á no solo sob a forma de charco, a partir do qual se continuará a evaporar. A distância do charco em relação ao ponto de libertação, varia na proporção directa com a velocidade da libertação, isto é, para velocidades baixas o charco formar-se-á por baixo do ponto de libertação, para velocidades mais elevadas, o líquido pode percorrer uma determinada distância, até que se dê a formação do charco.

O processo de vaporização parcial é isentalpico, isto é, dá-se para um valor de entalpia constante (entre líquido e vapor), sendo também usualmente referido como um processo adiabático instantâneo. Realizando um balanço de energia ao volume onde se verifica este fenómeno, poderemos determinar que

parcela do fluido sofreu esse *flash*. As Equações 3.1 e 3.2 traduzem o resultado desse balanço, (Sabersky *et al*,1989).

$$\phi = 100 \frac{H_u^L - H_d^L}{H_d^V - H_d^L} \quad (3.1)$$

Ou alternativamente,

$$\phi = 100 \cdot C_p \frac{T_u - T_d}{H_v} \quad (3.2)$$

Com:

Φ – percentagem que se vaporiza (em massa) [%]

H_u^L – entalpia do líquido a montante, à temperatura e pressão iniciais [J/kg]

H_d^V – entalpia do vapor vaporizado a jusante, à pressão final e correspondente temperatura de saturação a jusante [J/kg]

H_d^L – entalpia do líquido residual a jusante, à pressão final e correspondente temperatura de saturação a jusante [J/kg]

C_p – Calor específico do líquido a montante, à temperatura e pressão iniciais [J/(kg.°C)]

T_u – Temperatura do líquido a montante [°C]

T_d – Temperatura de saturação do líquido, correspondente à pressão final a jusante [°C]

H_v – Calor de vaporização do líquido, à pressão final e correspondente temperatura de saturação a jusante [°C]

Cruzando a informação sobre a fase do fluido, com a velocidade a que se dá uma libertação, iremos obter a “geometria da fuga”, que traduz o comportamento do fluido libertado. Poderemos então construir uma matriz de base, que permitirá verificar, para cada equipamento/sistema, qual a situação que corresponde ao cenário da fuga em causa. A Tabela 3.5 mostra a matriz fase/velocidade e a Tabela 3.6. lista alguns equipamentos de um Parque de GPL, caracterizando para cada um deles, o cenário possível de libertação do produto contido/movimentado.

Tabela 3.5. Matriz fase do produto/velocidade de libertação.

<i>Fase do Fluido</i>	<i>Velocidade de libertação</i>	<i>Geometria da fuga</i>
Gasosa	Elevada	Jacto
	Reduzida	Pluma
Líquida	Elevada	Jacto
	Reduzida	Charco

Tabela 3.6. Exemplo de equipamentos de um Parque de armazenagem e movimentação de GPL, e respectivos cenários de libertação.

<i>Fase da libertação</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Cenário</i>
Gás	Compressor	Jacto gasoso
	Dreno de purga gasosa	Pluma
	Tubagem com ligações flangeadas	Jacto gasoso
	Picagens e tubuladuras de diâmetro reduzido	«
	Pontos de ligação de instrumentação	«
	Válvulas	«
Líquido	Bomba	Jacto + vaporização, ou Charco + vaporização
	Mangueira flexível	«
	Dreno de purga líquida / ponto de amostragem	«
	Tubagem com ligações flangeadas	«
	Picagens e tubuladuras de diâmetro reduzido	«
	Pontos de ligação de instrumentação	«
	Válvulas	«

Conforme verificamos no capítulo 3.1 deste trabalho, a quantificação de fugas nos reservatórios de armazenagem, no âmbito da formação das atmosferas explosivas em cenários não catastróficos (diferença entre os domínios ATEX e AIG), tem como causas mais comuns as verificadas nas ligações, tubuladuras e equipamentos que com eles interagem. Por esse motivo, na lista de equipamentos apresentada não se faz referência explicitamente ao equipamento “reservatório”.

Posto isto, e antes de passarmos a descrever as equações de base para cada tipo de cenário, faremos algumas considerações sobre as relações entre as pressões e velocidades de escoamentos, que permitirão concluir acerca do critério de passagem do escoamento de subsónico para supersónico. Para o propósito desta análise, vamos tomar como base o comportamento dos fluidos compressíveis, para um escoamento que tem como origem um reservatório pressurizado, através de uma conduta de área variável. Assumindo para esse escoamento uma expansão isentrópica, e um comportamento de um gás perfeito, o caudal mássico, para um ponto genérico da conduta ao qual corresponde uma área A pode ser

determinado utilizando a equação 3.3., onde C_d é um coeficiente que contabiliza as perdas de carga na saída (ponto de origem da fuga). (Sabersky *et al.*, 1989)

$$\dot{m} = \rho V A C_d \quad (3.3)$$

Onde:

\dot{m} – caudal mássico, por unidade de área [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ - densidade [kg/m^3]

V – Velocidade do escoamento [m/s]

A – área genérica [m^2]

C_d – coeficiente de descarga [m^{-2}]

Uma vez que o escoamento é isentrópico, podemos estabelecer as seguintes relações entre as pressões, densidades e temperaturas:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} \quad (3.4)$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{k}}, \quad \text{com } k = \frac{C_p}{C_v} \quad (3.5)$$

Considerando ainda o comportamento dos gases perfeitos, onde a entalpia pode ser expressa como $h = C_p T + \text{const}$, poderemos descrever a equação de balanço energético para um escoamento como:

$$C_p T_1 + \frac{V_1^2}{2} = C_p T_2 + \frac{V_2^2}{2} \quad (3.6)$$

Pelo que a equação 3.3 pode tomar a seguinte forma:

$$\dot{m} = C_d \rho A \sqrt{2 C_p (T_0 - T_1)} = C_d \rho_0 \sqrt{2 C_p T_0} A \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad (3.7)$$

Se mantivermos constante o termo $\dot{m} / (C_d \rho_0 \sqrt{2 C_p T_0})$, consegue-se determinar uma relação entre a área A e a razão p/p_0 :

$$\eta_c = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}, \quad \text{onde: } \eta = \frac{p}{p_0} \quad (3.8)$$

O valor mínimo de η (valor crítico), corresponde ao ponto de transição entre um escoamento subsônico e um escoamento supersônico. Assim, para valores de (p/p_0) inferiores ao valor crítico, o escoamento diz-se subsônico, caso contrário diz-se supersônico. (Sabersky *et al.*, 1989)

Partindo das conclusões da análise teórica apresentada acima, designadamente o critério para a passagem do escoamento de subsônico a supersônico, é possível, para os casos do butano e propano, determinar os valores críticos de escoamento em relação à velocidade do som. (Cox *et al.*, 2003) Os resultados dos cálculos constam da Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Cálculo dos valores críticos de escoamento para determinação da passagem subsônico/supersônico.

<i>Fluído</i>	<i>k</i>	<i>η_c</i>	<i>Pressão inicial, a partir da qual o escoamento passa a supersônico</i>
Butano	1.096	0.586	172.9 kPa
Propano	1.131	0.578	175.3 kPa

Vejamos de novo o exemplo de um reservatório de armazenagem de butano, onde para um valor de temperatura de 290K (17°C), corresponde um valor para a pressão de armazenagem de aproximadamente 0.2 MPa, conforme se determina no diagrama da Figura 3.4. Comparando o valor obtido graficamente, com o calculado na Tabela 3.7., concluímos que o primeiro é superior ao ponto de transição do escoamento de subsônico para supersônico (0.17 MPa). Isto significa que, se partirmos de uma situação “estável” de equilíbrio, estando o butano armazenado, o aparecimento de uma fuga implicará velocidades supersônicas.

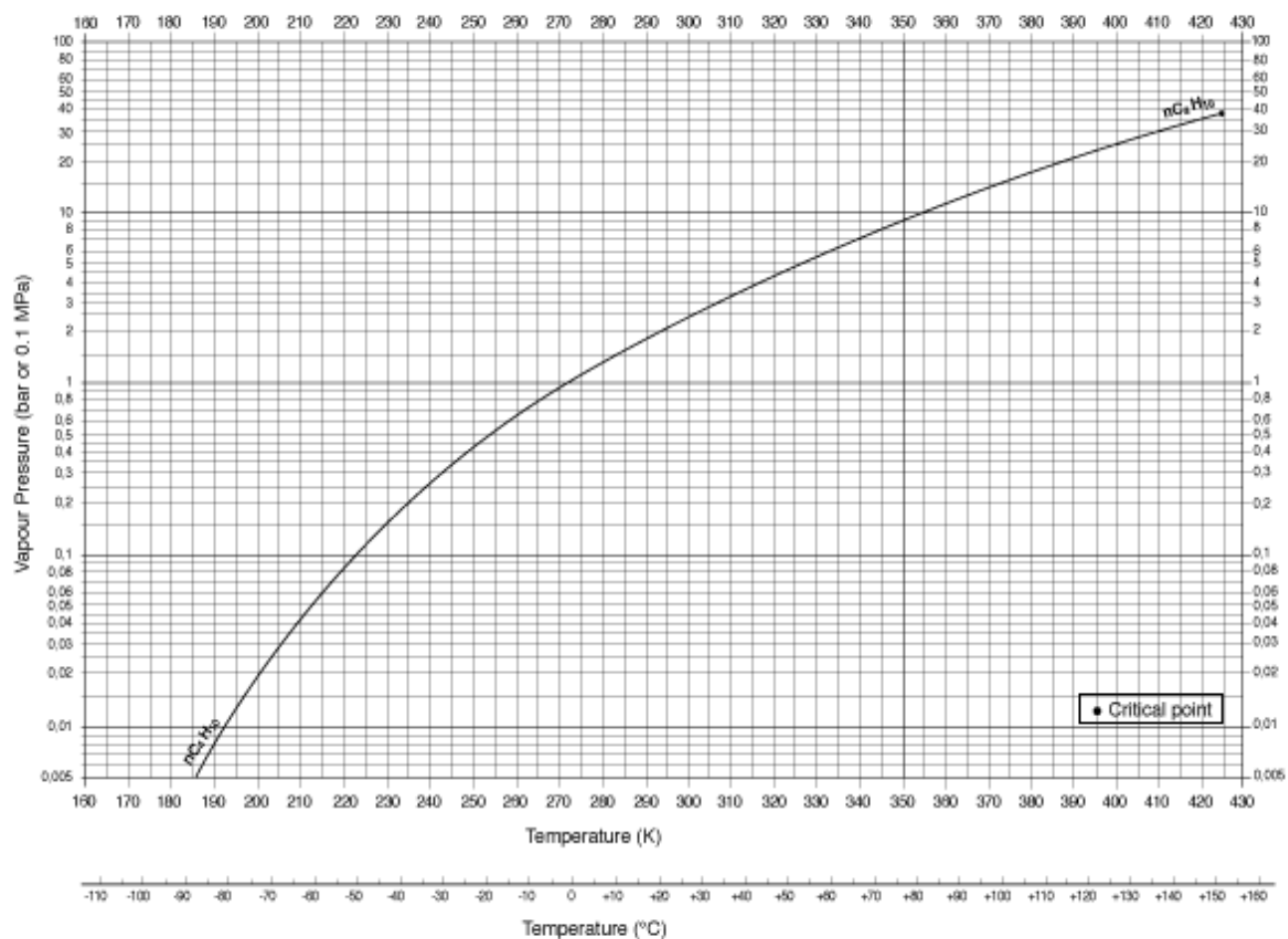


Figura 3.4. – Diagrama P-V para o Butano (Air Liquide, disponível em <http://airliquide.com>).

3.3.2. Equações para a modelação

Apresentamos em seguida as equações matemáticas que utilizaremos para descrever o comportamento dos escoamentos dos cenários apresentados na Tabela 3.6. (Cox *et al.*, 2003)

Emissão em Fase Gasosa – escoamento subsónico:

$$\dot{m} = \frac{C_D}{v_2} \sqrt{\left[2p_1 v_1 \frac{k}{k-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} \right] \right]} \quad (3.9)$$

Emissão em Fase Gasosa – escoamento supersónico:

$$\dot{m} = C_D \sqrt{\frac{k \cdot p_1}{v_1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k+1}{k-1} \right)}} \quad (3.10)$$

Emissão em Fase Líquida:

$$\dot{m} = C_d \sqrt{2\rho_L(p_1 - p_2)} \quad (3.11)$$

Com:

\dot{m} – caudal mássico, por unidade de área [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

C_d – coeficiente de descarga

p – pressão absoluta [Pa]

v – volume específico do gás [m^3/kg]

k – factor de expansão isentrópica, ver Eq. (3.5) [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]

ρ_L – densidade do líquido [kg/m^3]

$_1$ – índice – condições iniciais

$_2$ – índice – condições finais

Escoamento em Fase Líquida com descompressão instantânea (*flashing flow*):

Parcela que sofre a vaporização:

$$\phi_f = \frac{C_{pL}}{\Delta H_v} (T_1 - T_b) \quad (3.12)$$

Com:

Φ_f – parcela em massa, que sofre a vaporização por descompressão instantânea

C_{pL} – calor específico do líquido [$\text{kJ}/\text{kg K}$]

T – temperatura absoluta [K]

ΔH_v – calor latente de vaporização [kJ/kg]

$_b$ – índice – relativo ao ponto de ebulição

Dispersão de jacto em fase gasosa (escoamento subsónico):

$$\frac{C_{cl}}{C_0} = 5 \frac{d_0}{x} \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_0}} \quad (3.13)$$

Com:

C – concentração em volume [m^3/m^3]

d_0 – diâmetro equivalente do ponto de fuga [m]

x – distância ao ponto de libertação, ao longo da linha central [m]

ρ_a – densidade do ar ambiente [kg/m³]

ρ_0 – densidade do gás no ponto de libertação [kg/m³]

Dispersão de jacto em fase gasosa (escoamento supersónico):

$$\frac{m_{cl}}{m_e} = 1 - \exp \left(\frac{-1}{k' \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_{eq}} \frac{z^*}{r_{eq}}} - X_c} \right) \quad (3.14)$$

$$z^* = z - 2 \cdot z_b \quad (3.15)$$

$$z_b = 770 \cdot 10^{-6} d_e + 68 \cdot 10^{-6} d_e^{1.35} \frac{p_1}{p_e} \quad (3.16)$$

$$\rho_{eq} = \rho_e \frac{p_a}{p_e} \quad (3.17)$$

$$p_e = p_1 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k}{k-1} \right)} \quad (3.18)$$

$$d_{eq} = d_e \sqrt{\frac{C_D \cdot p_e}{p_a}} \quad (3.19)$$

Com:

m – fracção de massa [kg/kg]

d_e – diâmetro do ponto de fuga [m]

d_{eq} – diâmetro equivalente do ponto de fuga [m]

P_a – pressão atmosférica [Pa]

P_e – pressão de libertação (à saída) [Pa]

r_{eq} – raio equivalente [m]

z – distância ao longo do eixo do jacto [m]

z_b – comprimento do corpo (barrel) [m]

z^* - distância radial corrigida [m]

$k=C_p/C_v$ (vide eq. 3.5)

ρ_a – densidade do ar ambiente [kg/m³]

ρ_e – densidade do gás no ponto de libertação [kg/m³]

ρ_{eq} – densidade do gás sob condições equivalentes [kg/m^3]

k', X_c – constantes [kg/m^3]

Dispersão de gás (em pluma):

$$\chi = \frac{\dot{m}}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (3.20)$$

$$\sigma = \exp[a + b \cdot \ln(x) + c(\ln(x))^2] \quad (3.21)$$

Com:

χ – concentração [kg/m^3]

\dot{m} – caudal mássico libertado [kg/s]

u – velocidade da ventilação [m/s]

σ – coeficientes da dispersão [m]

x, y, z – distâncias segundo a direcção da ventilação, perpendicular à ventilação e vertical [m]

a, b, c – constantes

3.3.3. Estimação das dimensões dos pontos de fuga

A quantificação das dimensões dos pontos de fuga apresenta-se como uma tarefa árdua, uma vez que não existe a prática de registar/compilar a existência de fugas de reduzida dimensão, designadamente no que concerne à quantificação/estimativa da área dessa fuga, e uma avaliação posterior com base em relatórios de manutenção não é realizável.

Assim, para cada tipo de equipamento iremos, tanto quanto possível, apresentar a caracterização do ponto de libertação atribuindo-lhe um valor para uma *área padrão*. Uma das formas de determinar o valor dessa área, é considerando a geometria real do ponto de fuga. Sendo que, para alguns casos a este valor é aplicado um coeficiente de descarga. Iremos em seguida particularizar para alguns tipos de equipamentos, o modo que adoptaremos para a determinação da referida área padronizada.

a) Fugas em bombas e/ou compressores

Estes equipamentos, embora com princípios de funcionamento e utilizações distintas (quer em termos de pressões, quer em termos do estado do fluído), apresentam como ponto de fuga mais provável a

vedação no veio rotativo, como se evidencia no exemplo da Figura 3.5., onde foi assinalada essa zona.
(API 343, 1998)

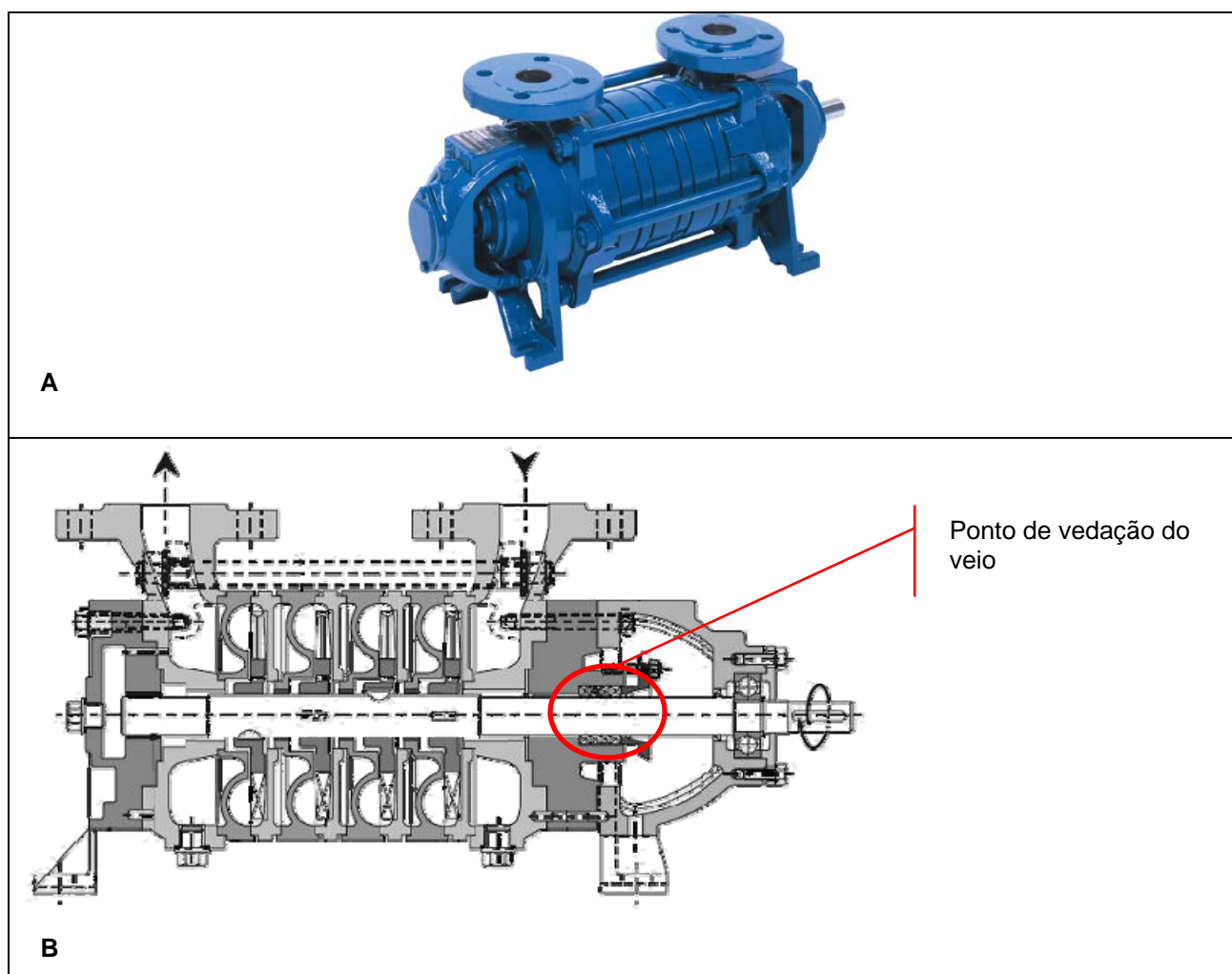


Figura 3.5. A – Bomba de GPL SIHI AEH (perspectiva); B – Bomba de GPL SIHI (representação em corte, onde se evidenciou zona de vedação do veio) (Sterling, 2004).

As fugas nestes equipamentos podem ser quantificadas através de uma relação entre o diâmetro do veio e a tolerância em relação ao respectivo vedante. As equações seguintes, apresentam duas fórmulas de cálculo para essas fugas, a equação 3.21, apresenta a área de saída do escoamento, A , como função directa do diâmetro do veio, e da tolerância em relação ao vedante. A equação 3.22, substitui a tolerância por uma constante, que para alguns casos poderá reflectir um coeficiente de descarga. (Cox *et al.*, 2003)

$$A = \pi.l.d \quad (3.22)$$

$$A = k.\pi.d \quad (3.23)$$

Com:

A – área da fuga [mm^2]

d – diâmetro do veio [mm]

l – tolerância veio/vedante [mm]

k - constante

b) Fugas por drenos de purga líquida e pontos de amostragem

As linhas de amostragem, normalmente apresentam diâmetros de 20 mm, ao passo que as linhas do circuito de purgas podem apresentar diâmetros até aos 50 mm (2"). A concepção destes sistemas, é feita normalmente interpondo um conjunto constituído por uma válvula de corte, seguida por uma válvula cuja abertura é manual e a recuperação (o fecho) é feito por acção de uma mola, designada comumente como "válvula de homem-morto", e uma flange cega, ou tampão roscado, por forma que esse conjunto quando actuado para a realização da purga ou da recolha de amostras, se faça escoando um volume restrito e bem conhecido, ao mesmo tempo que não possibilite aquando da sua actuação, uma fuga franca, ou seja, uma ligação directa entre o produto contido no reservatório e o exterior.

Dadas as especificidades deste tipo de ligações, as fugas com origem nestes sistemas poderão ser tratadas de duas formas alternativas: tomando como cenário uma fuga na válvula que precede o ponto de purga ou de colheita de amostras, ou uma fuga numa ligação flangeada. Um e outro caso serão abordados nos parágrafos seguintes.

c) Fugas em válvulas

Quando vulgarmente se diz que uma válvula "está com fuga" significa que, embora na posição fechada, admite ainda uma passagem de fluído, mesmo que residual, mas no caso específico da nossa análise, não nos estaremos a referir a esse tipo de fuga, uma vez que os seus efeitos reflectir-se-ão apenas em termos processuais, e não para o exterior. A quantificação que se pretende ter em linha de conta no âmbito deste trabalho, resulta na transferência (fuga) de produto para o exterior, devido a uma falha ou desgaste no funcionamento da válvula. Assim, para fugas nas válvulas de corte admite-se uma passagem de fluído pela haste da válvula, causada pela deficiente vedação entre o órgão móvel (o macho) e a sede. A Tabela 3.8. apresenta os valores utilizados na indústria para a quantificação deste tipo de fuga. (Cox *et al.*, 2003)

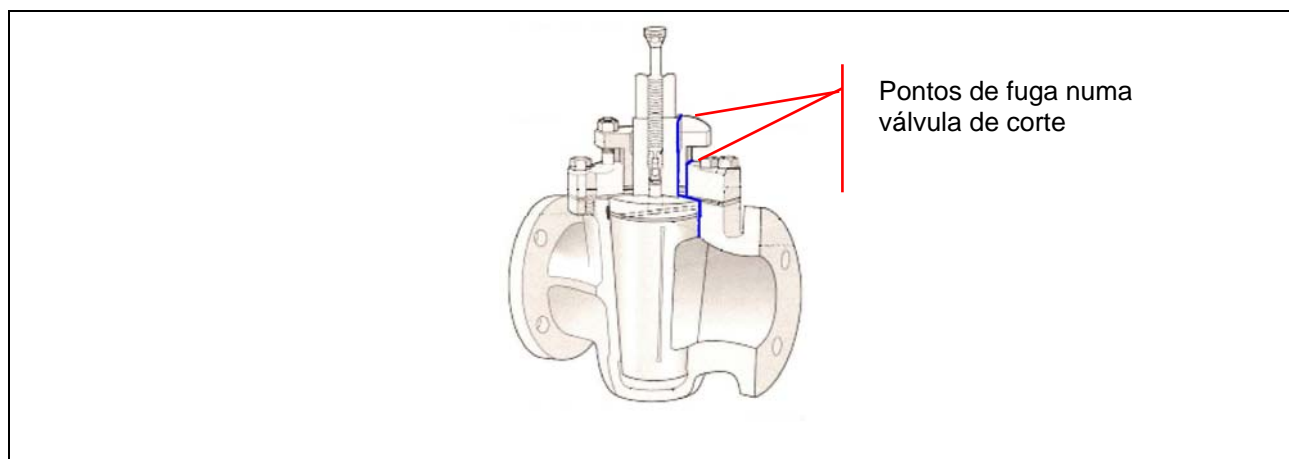


Figura 3.6. A – Válvula AUDCO – representação em corte, onde se evidenciáramos possíveis pontos de fuga de produto (Nordstrom Audco, 2004).

Tabela 3.8. Valores típicos utilizados na indústria (Cox *et al*, 2003).

Área [mm ²]	Tipo de válvula
0.250	<ul style="list-style-type: none"> - Válvulas de uso geral, instaladas em linhas com dimensões menores que Ø 6". - Regimes de funcionamento baixo e médio (n.º de operações diárias inferior a 10).
2.500	<ul style="list-style-type: none"> - Válvulas de uso geral, instaladas em linhas com dimensões superiores a Ø 6". - Regime de funcionamento severo (n.º de operações diárias superior a 10).

d) Fugas por ligações flangeadas

No caso das fugas nas ligações flangeadas, admite-se a sua existência devido a causas relacionadas com o tipo de material da junta e com o binário de aperto a que a ligação foi sujeita. Para proceder à quantificação das fugas, considera-se usualmente a deterioração da secção da junta, entre dois pernos consecutivos, conforme se ilustra na Figura 3.7., para uma ligação de Ø 3" com uma junta de 2 mm de espessura, onde se evidenciou a negro a secção em causa. Este cálculo obriga ao conhecimento das especificações de cada ligação em concreto, a respectiva geometria e tipo de junta utilizada (já que a espessura da junta está associada à dimensão da flange). No caso dos GPL, é usual utilizarem-se as especificações ASA 300# e DIN PN 25 no projecto de ligações flangeadas, com juntas de 2 e 3 mm.

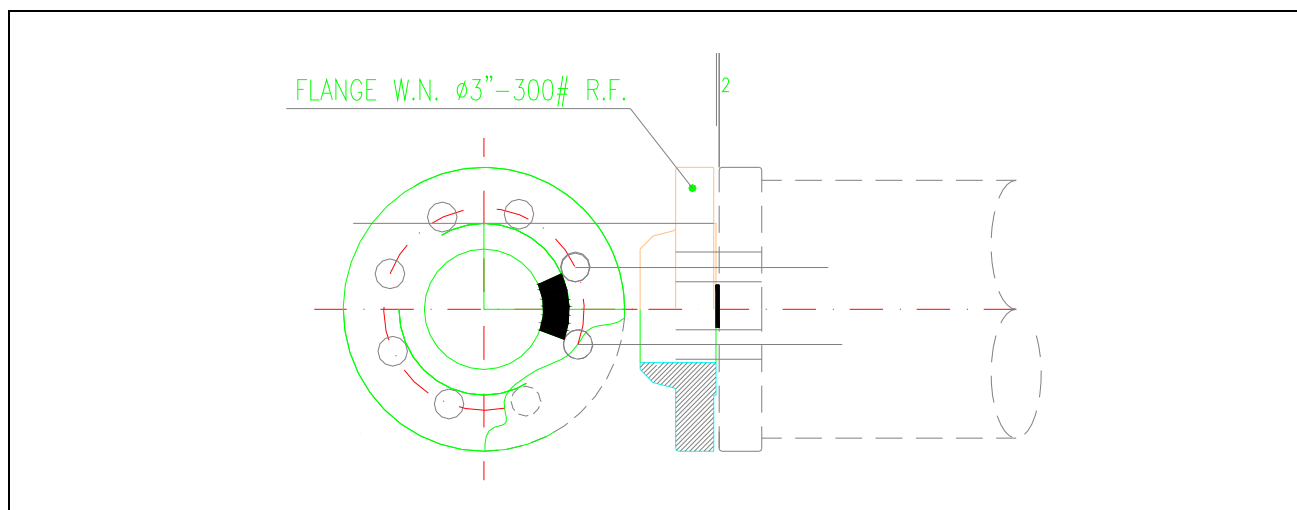


Figura 3.7. Representação de uma ligação flangeada de Ø 3", com junta de 2mm de espessura, onde se evidenciou a negro a perda de secção da junta.

3.4. EFEITO DA VENTILAÇÃO

O estudo da ventilação reveste-se de um grau de importância muito significativo, no caso de espaços interiores, uma vez que determinará a limitação da fuga ao volume estimado, em torno do ponto de libertação, ou, permitirá a extensão para além desse volume, até que eventualmente preencha todo o espaço com uma atmosfera potencialmente explosiva.

De uma forma simples poderemos definir a ventilação como a capacidade de renovar a atmosfera de um volume hipotético, substituindo-a por ar fresco.

Podemos distinguir dois tipos de ventilação: ventilação natural que pode ter como origem o efeito dos gradientes térmicos ou o efeito do vento devido às diferenças de pressão; e ventilação forçada ou artificial (CEBIT, 2004). A ventilação natural, condicionará a dispersão de uma fuga de produto, quando esta se situa ao ar livre. No caso da ventilação artificial, uma vez que é “produzida” de forma mecânica, abre a possibilidade de se poder controlar e assegurar os caudais que se necessitam, podendo aumentar esses valores de acordo com a necessidade. Normalmente consideram-se como valores típicos para a ventilação natural de 0.5 a 3 renovações por hora, assumindo-se que as velocidades máximas da movimentação do ar não devem exceder 0.5 m/s, por questões que se prendem apenas com os padrões de conforto humano (IEC 60079-10, 2002).

Na prática, a solução a adoptar estará dependente dos objectivos a atingir, mas envolverá uma, ou a combinação, das seguintes situações:

- para prevenir o surgimento de uma atmosfera explosiva, pode adoptar-se uma solução de diluição, que consiste em gerar um nível de ventilação elevado por forma a que os valores de concentração para um ponto de fuga previsível, não atinjam o LIE do produto em causa;
- caso a situação anterior não seja realizável, pode-se adoptar um nível de ventilação que faça reduzir a frequência do aparecimento de concentrações com valores superiores ao LIE, ou da redução do tempo de permanência desses valores de concentração;
- no caso de uma posição localizada, poder-se-á adoptar um sistema de exaustão, que poderá ser contínua, ou não, dependendo da atmosfera explosiva em causa;
- em situações que se considerem de emergência, poderão adoptar-se soluções com valores superiores aos desejados para os já referidos níveis de conforto, dependendo do que se definir como “emergência”.

O recurso a este modo de controlo, permite que se influencie os valores da concentração de produto, e consequentemente, o grau de explosividade da atmosfera em causa, ou seja, a necessidade de classificação da zona, incluindo-a num dos níveis de zonas ATEX. A determinação dessas zonas será alvo de análise no ponto 3.5. do presente trabalho.

A determinação da influência da ventilação nos valores de concentração, dependerá essencialmente de dois factores: da sua intensidade, ou grau; e da disponibilidade (IEC 60079-10, 2002).

Quanto à intensidade, esta distribui-se segundo três níveis: ventilação *intensa*, quando a redução da concentração se consegue num curto intervalo de tempo, resultando valores abaixo do LIE; ventilação *média*, quando se consegue um controlo da dispersão que configure um volume, para valores iguais ou superiores ao LIE, de dimensões mais reduzidas, e logo que cesse o escape permite que a atmosfera explosiva persista apenas por um período relativamente curto; ventilação *fraca* quando esta não é suficiente para influenciar os valores de concentração, e quando o escape cessa é incapaz de evitar que os valores de concentração se prolonguem por um período de tempo largo.

Em termos da disponibilidade, a ventilação classifica-se como *boa*, se se verifica de uma forma contínua; *razoável*, caso esteja presente durante a operação normal, podendo apresentar descontinuidades desde que pouco frequentes; e *fraca*, quando não se pode classificar como boa ou fraca, mas não é expectável que ocorram descontinuidades por períodos longos.

3.5. ZONAGEM ATEX

Um dos efeitos práticos da análise das atmosferas explosivas, é a definição de zonas, ou seja, a imposição de limites físicos em torno dos equipamentos ou sistemas, onde exista a probabilidade de ocorrer uma fuga, cuja concentração seja mensurável e que, quando comparada com os limites de inflamabilidade da substância em causa, se situe dentro desse intervalo. Essa classificação vai determinar o grau de protecção necessário, quer para os equipamentos a instalar, quer para as actividades a desenvolver nesse espaço, de forma a minimizar o risco de aparecimento de um ponto de ignição. Esta abordagem tem em consideração os *potenciais pontos de ignição*, que não se limitam nem se esgotam nos equipamentos eléctricos.

Tenhamos atenção, no entanto, à relevância prática destas noções, uma vez que, a ignição de uma fuga, por determinado ponto de ignição, não depende apenas do volume delimitado por esse ponto de fuga por si só, mas por um volume composto, dadas as possíveis fontes de fuga existentes na vizinhança, ou seja, não importa apenas a distância do ponto de fuga à localização da ignição, mas também a densidade dos possíveis pontos de ignição.

Para a classificação das zonas, seguiremos neste trabalho as definições especificadas na norma internacional *IEC 60079-10, Classification of hazardous areas*, (IEC, 2002), segundo a qual a extensão das zonas está dependente da distância, calculada ou estimada, desde o ponto de fuga até a um ponto onde o valor da concentração seja inferior ao limite inferior de inflamabilidade (ou se preferirmos de explosividade). Esta distância pode ser de alguma forma “modelada”, impedindo a sua dispersão ou forçando a sua contenção, por meio da colocação de barreiras físicas, pela injeção de um caudal de ar que seja suficiente para evitar a penetração da atmosfera exterior num determinado espaço, ou por meio de uma sobrepressão.

Entende-se então a classificação das áreas potencialmente explosivas em zonas, em função da frequência com que ocorrem concentrações relevantes (superiores ao LIE), e da duração dessa condição de atmosfera explosiva, podendo distinguir-se as seguintes situações:

- Zona 0 – espaço onde a ocorrência de uma atmosfera explosiva pode tomar um carácter permanente, por períodos prolongados ou com muita frequência;
- Zona 1 – espaço onde é espectável a ocorrência ocasional de uma atmosfera explosiva, durante a operação normal;
- Zona 2 – espaço onde não é expectável que se verifique a existência de uma atmosfera explosiva, durante a operação normal, no entanto caso ocorra, a sua duração será por um período de tempo curto.
- Zona não classificada – espaço onde não se verifica qualquer das situações anteriores.

A quantificação destes conceitos, não é prática para a generalidade dos referenciais, pois a grande maioria das abordagens não apresenta limites numéricos que acompanhem/complementem a definição das zonas. A excepção que apresentamos em seguida, tem por base um guia Italiano para a classificação de áreas perigosas, no âmbito da instalação de equipamento eléctrico, que toma como entradas a probabilidade de se detectar uma atmosfera explosiva, num período padrão de um ano, e a duração total da fuga. A Tabela 3.9. reproduz esta matriz de classificação (DNV *et al*, 2005) (Cox *et al*, 2003).

Tabela 3.9. Classificação das Zonas potencialmente explosivas em função da probabilidade de ocorrência de fugas e da duração
(DNV *et al*, 2005).

Probabilidade (em 365 dias)	Duração total da fuga em 365 dias [horas]	Zona
$p > 10^{-1}$	$t > 1000$	Zona 0
$10^{-3} < p \leq 10^{-1}$	$10 < t \leq 1000$	Zona 1
$10^{-5} < p \leq 10^{-3}$	$0.1 < t \leq 10$	Zona 2

A metodologia que adoptaremos no presente trabalho para a definição das zonas, cruzará a classificação referenciada na Tabela 3.9., com os valores para quantificação de fugas, que resultaram dos dados disponíveis sobre a frequência deste tipo de acontecimento (fuga), conforme se apresenta na Tabela 3.10. Assim, após a determinação da extensão da nuvem potencialmente explosiva (para valores de concentração iguais ou superiores ao LIE), faremos a classificação dessa zona.

Tabela 3.10. Distribuição da frequência de fugas por ano (Cox *et al*, 2003).

<i>Equipamento</i>	<i>Dimensão da fuga</i>	<i>Quantificação</i>	<i>Frequência [fugas/ano]</i>
Bombas	Fuga franca	A	3×10^{-5}
	Fuga média	0.1 A	3×10^{-4}
	Pequena fuga	0.01 A	3×10^{-3}
Válvula	Fuga franca	A	10^{-5}
	Fuga média	0.1 A	10^{-4}
	Pequena fuga	0.01 A	10^{-3}
Flange	Perda de secção	A	10^{-4}
	Pequena fuga	0.1 A	10^{-3}
Ligações e picagens para instrumentos	Fuga franca	A	5×10^{-4}
	Fuga média	0.1 A	5×10^{-3}

Onde:

A – área equivalente do ponto de fuga ou libertação.

3.6. SOFTWARE ZONAS – INTRODUÇÃO DO MODELO

Por forma a articular os conteúdos teóricos que expusemos, designadamente os associados às várias equações que permitem quantificar o comportamento das fugas de produtos com densidade superior ao ar (caso dos GPL), e para conseguir obter de forma rápida os resultados pretendidos, desenvolvemos um programa informático específico para cálculo e simulação, que designamos como *Zonas*. Seleccionámos, para esse efeito, o software Matlab, na sua versão 11, cuja base de cálculo assenta sobre o tratamento da informação assumindo-a sob a forma matricial. Além disso, a possibilidade de criar uma interface com o operador, para introdução de dados, a capacidade de desenvolvimento de rotinas de cálculo, que permitam efectuar as iterações necessárias, para o tipo de análise pretendida, e o conhecimento que possuímos sobre este programa, condicionaram a sua escolha como meio privilegiado para a obtenção dos resultados pretendidos. Tirámos ainda partido da capacidade de elaboração de gráficos, que permitiram visualizar

directamente os resultados que as rotinas de cálculo iam gerando, sem a necessidade de os exportar para tratamento posterior noutro ambiente.

A Figura 3.8. introduz, sob a forma de fluxograma, o modelo adoptado como base de cálculo para as simulações efectuadas no âmbito deste trabalho e, reproduzida nas funções adoptadas na concepção do *software Zonas*.

As listagens do *software* produzido encontram-se em anexo a este trabalho.

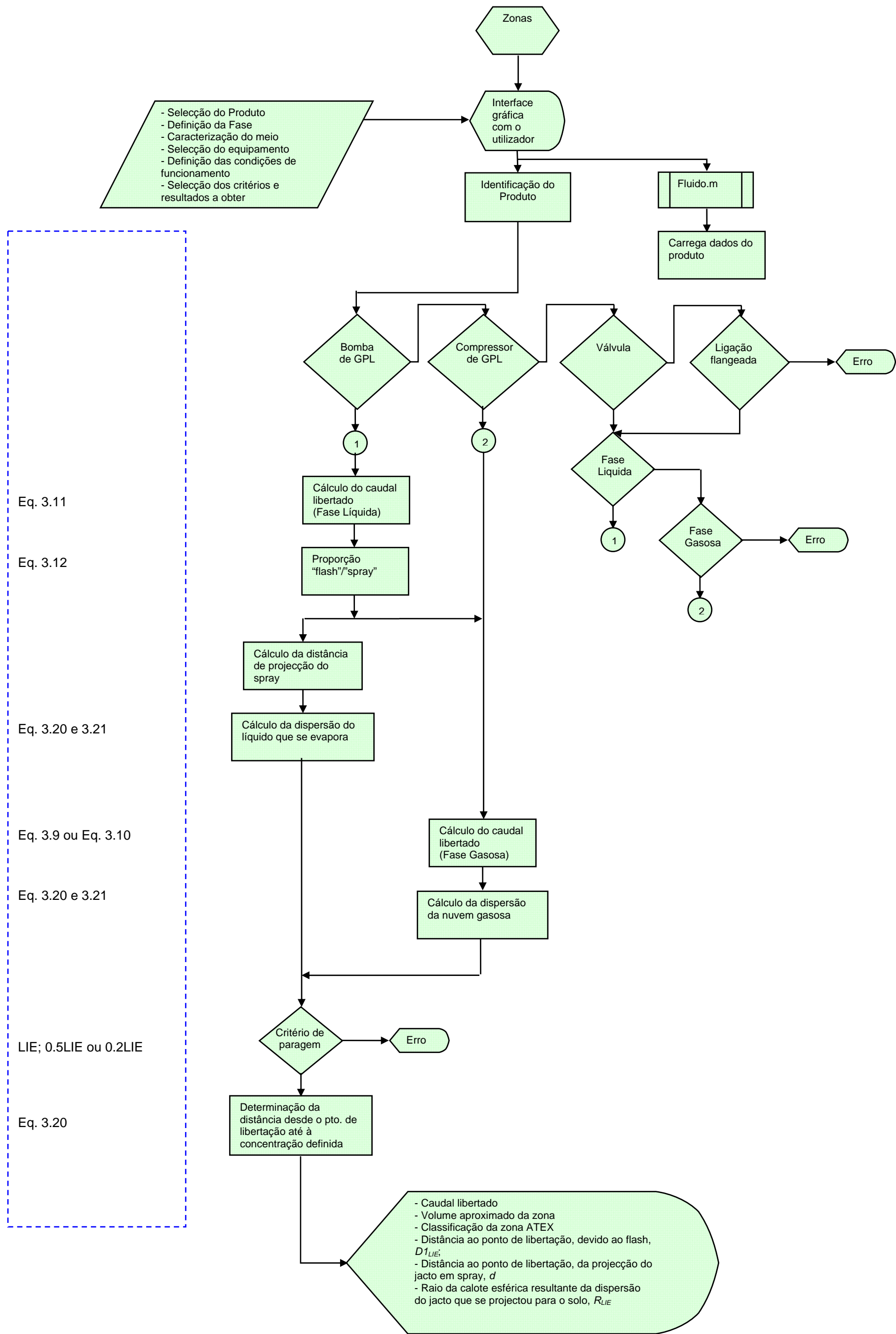


Figura 3.8. Representação de uma ligação flangeada de Ø 3", com junta de 2mm de espessura, onde se evidenciou a negro a perda de secção da junta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. SIMULAÇÕES

Como forma de testar a exposição teórica que temos vindo a realizar, iremos para cada equipamento seleccionar um cenário, no qual pretendemos reflectir as suas condições reais de funcionamento e tipo de instalação associada à respectiva posição no Parque de armazenagem e movimentação de GPL. A caracterização sumária de cada cenário é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. – Resumo dos cenários seleccionados.

<i>Cenário</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Fluído</i>	<i>Fase</i>	<i>Caracterização da fuga</i>
1	Bomba	Butano	Líquida	- libertação em fase líquida - descompressão instantânea - projecção em spray - dispersão como pluma
2	Compressor	Butano	Gasosa	- libertação em fase gasosa - dispersão da nuvem explosiva
3	Válvula	Butano	Líquida	- libertação em fase líquida - descompressão instantânea - projecção em spray - dispersão como pluma
4	Válvula	Butano	Gasosa	- libertação em fase gasosa - dispersão da nuvem explosiva
5	Flange	Butano	Líquida	- libertação em fase líquida - descompressão instantânea - projecção em spray - dispersão como pluma
6	Flange	Butano	Gasosa	- libertação em fase gasosa - dispersão da nuvem explosiva

Para cada cenário simular-se-á, com o auxílio do programa informático *Zonas*, as variáveis que nos permitirão posteriormente definir áreas, de acordo com a probabilidade de existir uma atmosfera potencialmente explosiva – *zonas ATEX*.

a) Cenário 1 – Libertação de butano em fase líquida, admitindo uma fuga no veio de uma bomba

Consideremos como condições iniciais as que se apresentam na Tabela 4.2.:

Tabela 4.2. – Caracterização do equipamento e condições de funcionamento.

<i>Equipamento</i>	Bomba SIHI CEH 6104
<i>Regime de funcionamento</i>	Contínuo (4+4)h/dia
<i>Ø veio</i>	32 mm
<i>Velocidade de rotação</i>	1450 rpm
<i>Pressão à admissão</i>	3 bar
<i>Pressão de saída</i>	10 bar
<i>Cota do ponto de libertação</i>	200 mm
<i>Velocidade do vento</i>	2 m/s (~ 7.2 km/h)
<i>Temperatura ambiente</i>	20 °C
<i>Dimensão da fuga</i>	Franca

Tendo em conta as características dimensionais disponibilizadas no catálogo deste equipamento (Sterling, 2003), e o valor médio da folga para a qualidade indicada para o veio, de acordo com o definido na Norma Portuguesa NP-258, calculamos um diâmetro equivalente para o orifício da fuga, com base na equação (3.23) já apresentada, tendo resultado o seguinte valor:

$$\begin{array}{l}
 \text{Øveio} = 32 \text{ mm} \\
 \text{Folga média} = 7.5 \text{ } \mu\text{m (j5)} \\
 K=2
 \end{array}
 \longrightarrow
 \text{Øfuga} = 1.386 \text{ mm}$$

Para as simulações realizadas pelo programa informático desenvolvido no âmbito deste trabalho (*Zonas*), consideraram-se as seguintes etapas:

- ☒ A emissão dá-se em fase líquida. Iremos utilizar a equação (3.11) para calcular o caudal libertado. Assumiremos que $C_d=0.62$ (Cox *et al*, 2003).
- ☒ Como se trata de um gás liquefeito (butano), imediatamente após a libertação em fase líquida, dá-se uma descompressão instantânea (*flash*). Calcularemos então a parcela que vaporiza imediatamente após a libertação, utilizando a equação (3.12).
- ☒ A parcela que *flashes*, dispersa-se como uma pluma. Utilizaremos a equação (3.20) para o cálculo da concentração em função da distância ao ponto de libertação.

- ☑ Com base no resultado obtido no ponto anterior, determinaremos a distância $D1_{LIE}$, desde o ponto de libertação até que se atinja um valor de concentração correspondente ao limite inferior de explosividade do butano.
- ☑ A restante parcela libertada, é projectada sob a forma de *spray*. Assumindo que o jacto de líquido forma um ângulo de 60° com a projecção vertical do ponto de libertação e é dirigido para o solo, poderemos determinar uma distância d , de alcance desse jacto, onde se formaria um charco. Porém, as gotículas de *spray* evaporam completamente ao entrar em contacto com o solo, dispersando como pluma. Utilizaremos então a equação (3.20) para o cálculo da concentração em função da distância a esse ponto de contacto com o solo.
- ☑ Determinaremos o raio R_{LIE} , da calote esférica que circunscreve a dispersão que corresponde a um valor de concentração correspondente ao limite inferior de explosividade do butano, a partir de um ponto situado à distância d , calculada na alínea anterior.

A Tabela 4.3. apresenta os resultados das simulações efectuadas para as várias classes de estabilidade: caudal libertado; distância ao ponto de libertação (distância à origem) devido ao *flash*; distância percorrida pelo jacto e a distância e volume resultantes do cálculo da Zona que circunscreve os pontos com valores de concentração superiores a 50% do LIE do butano (V_{ATEX}). O objectivo de realizar as simulações, neste primeiro cenário, para todas as classes de estabilidade foi explicitar a contribuição deste parâmetro para a dimensão do volume de atmosfera explosiva. O volume apresentado, resulta numa calote esférica, pelo facto de não se considerar somente uma determinada direcção e sentido, quer do vento, quer da fuga, para que se obtenha um resultado adequado a todas as situações.

Tabela 4.3. – Resultados para o cenário 1.

Caudal libertado [kg/s]	Classe de Estabilidade	Flash e dispersão	Jacto em spray e dispersão	
		Distância à origem $D1_{LIE}$ [m]	Distância à origem, da projecção do jacto d [m]	Raio da calote esférica R_{LIE} [m]
31.893×10^{-3}	A	0.028	0.346	0.111
	B	0.068	0.346	0.260
	C	0.101	0.346	0.410
	D	0.163	0.346	0.728
	E	0.228	0.346	1.088
	F	0.363	0.346	1.867

Em termos de visualização gráfica, a Figura 4.1. apresenta o andamento do valor da concentração até ao ponto em que se atinge o LIE do butano, e por conseguinte, a correspondente distância à origem do ponto de libertação, para as condições iniciais descritas na Tabela 4.2., para este cenário, para uma fuga franca e para as várias classes de estabilidade.

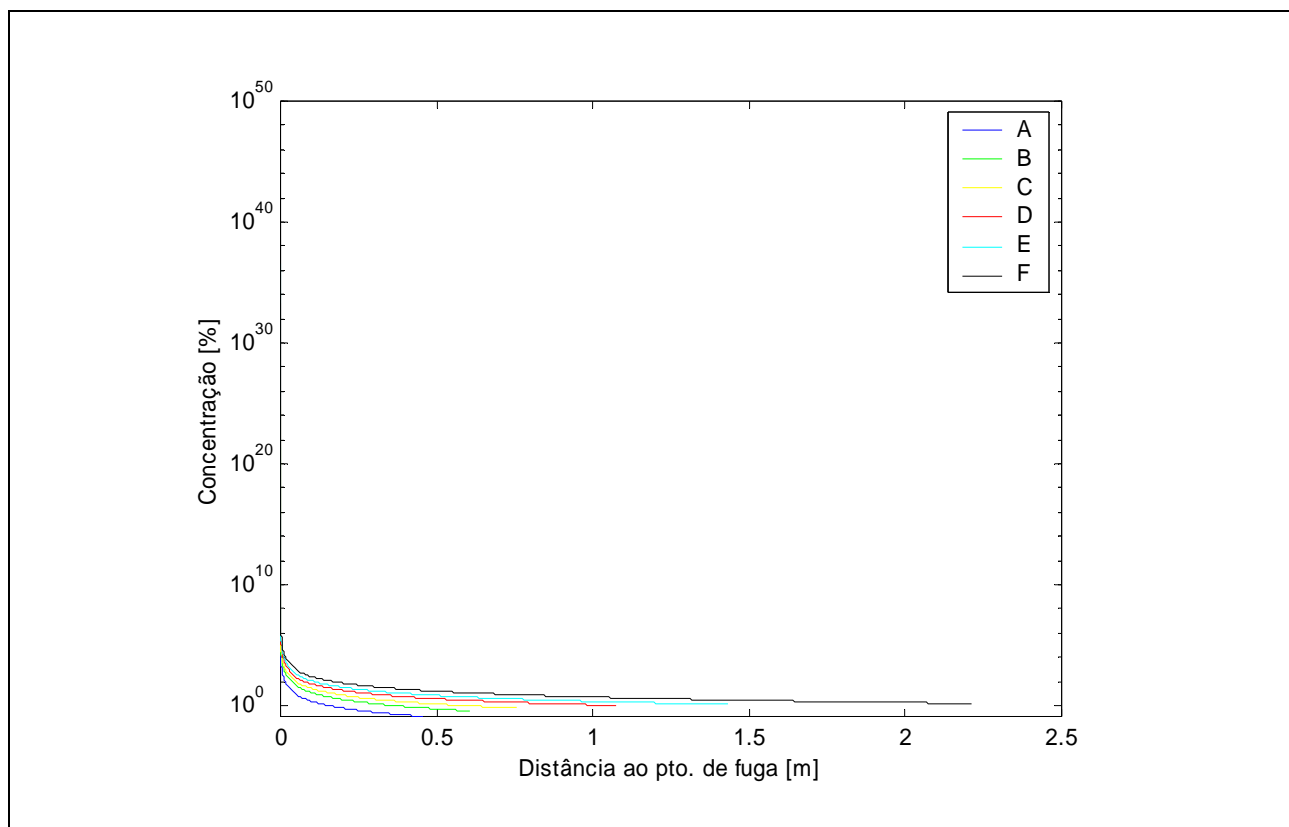


Figura 4.1. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Todas as classes de estabilidade).

Como esperado, à medida que a caminhamos para uma maior estabilidade atmosférica, a dispersão torna-se mais difícil, o que resulta num aumento da distância ao ponto de libertação.

Fixando a classe de estabilidade (neste caso D), e alterando o tipo de fuga, iremos obter os resultados, em termos de perfil de concentrações, que se evidenciam na Figura 4.2., para os quais correspondem os seguintes caudais libertados:

Fuga Franca: $\dot{m} = 31.893 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

Fuga Média: $\dot{m} = 31.893 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$

Fuga Pequena: $\dot{m} = 31.893 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$

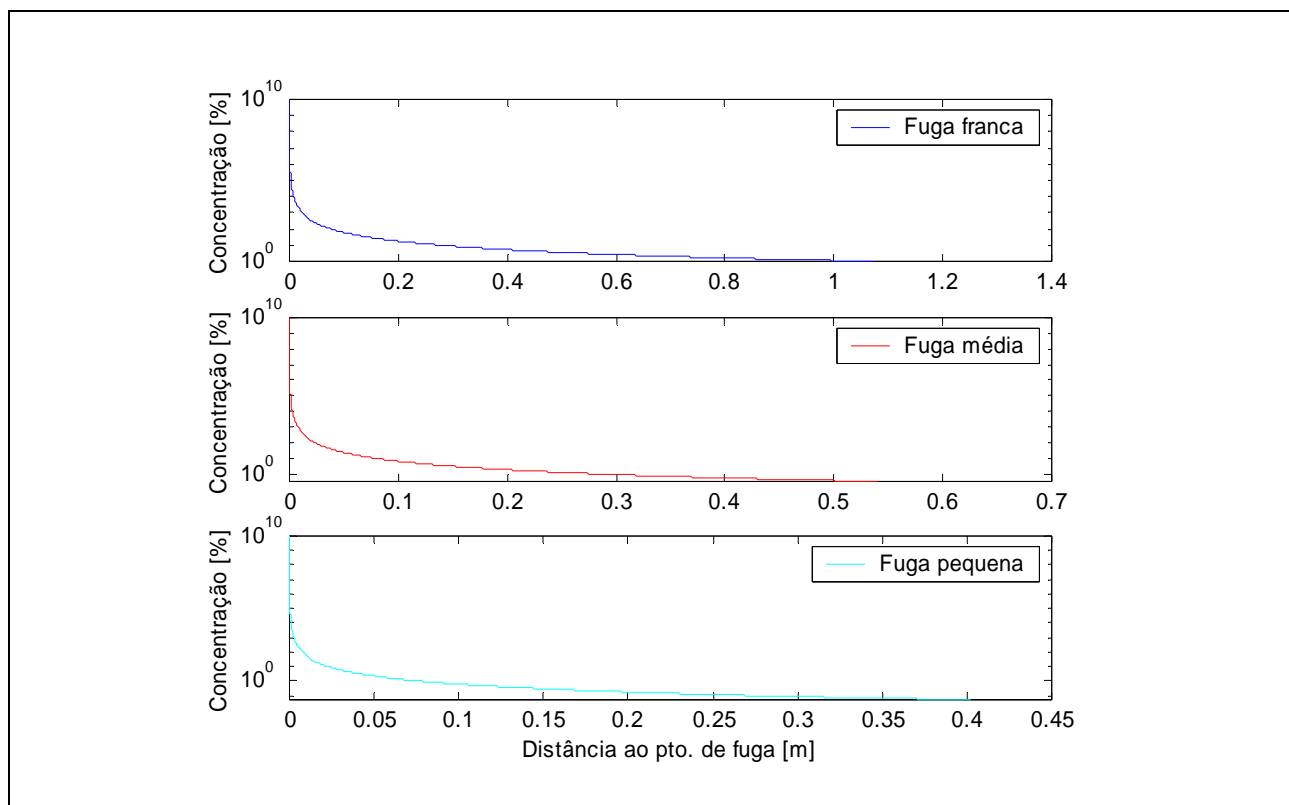


Figura 4.2. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para os vários tipos de fuga (Classe de estabilidade D e valores de concentração superiores ao LIE).

Neste caso, verifica-se uma correspondência é directa, isto é, quanto maior o caudal libertado, maior será a distância a percorrer desde o ponto de libertação, até que as concentrações baixem para valores inferiores ao limite inferior de explosividade.

Temos considerado como limite para a definição do volume potencialmente explosivo, o limite inferior de explosividade (LIE), porém poder-se-á adoptar outro valor qualquer. Na prática, quando se pretende alargar o factor de segurança, toma-se um valor correspondente a 50% LIE. Os sensores de detecção de gases, instalados nos Parques de armazenagem e enchimento de GPL, são normalmente calibrados para accionar um sinal de alarme, quando a concentração de GPL, no ponto onde se encontram instalados, atinge 20% LIE, pelo que, na Figura 4.3. mostram-se os perfis de concentração correspondentes a cada um dos critérios referidos (LIE; 0.5LIE e 0.2LIE) e na Figura 4.4. representaram-se os volumes definidos em torno do equipamento em questão – uma bomba de GPL.

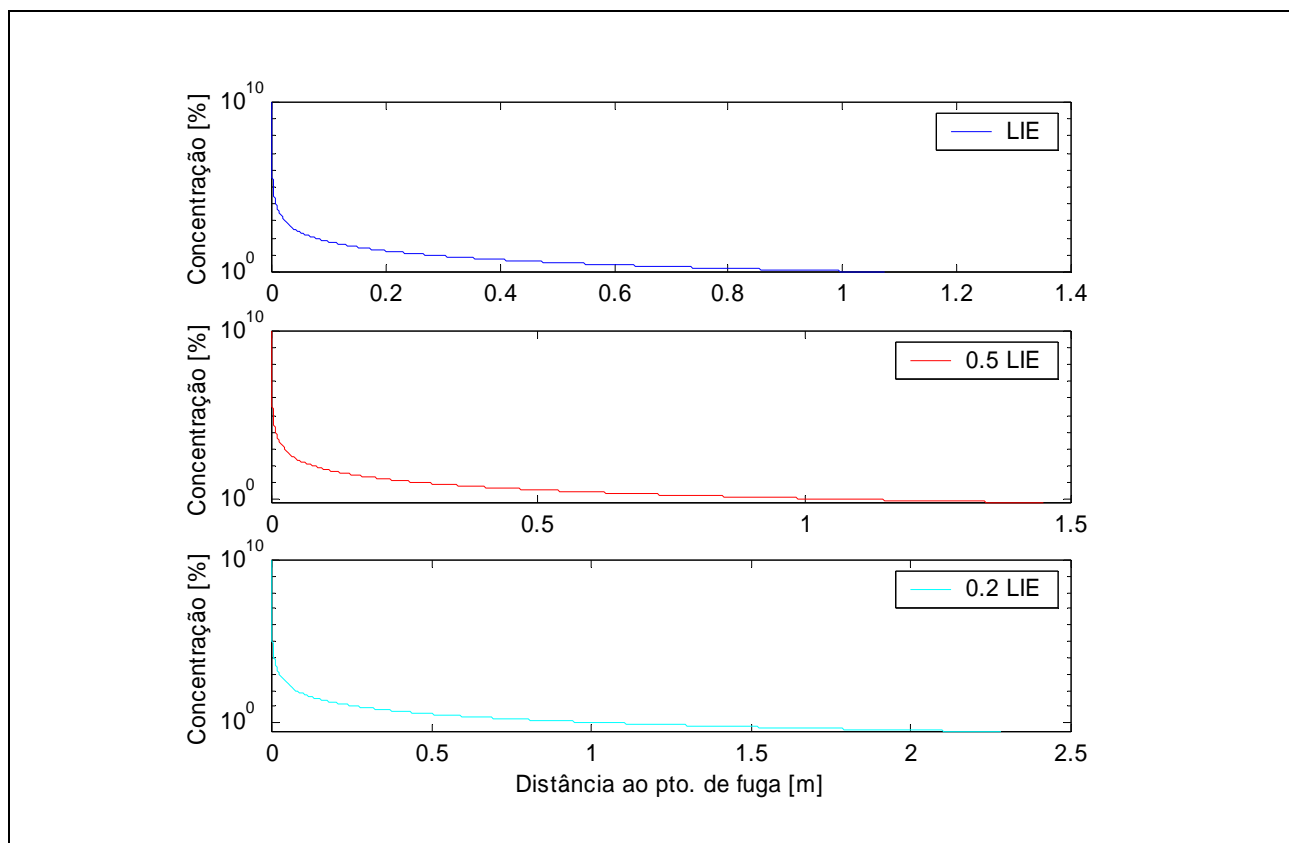


Figura 4.3. Concentração em função da distância ao ponto de libertação considerando os critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

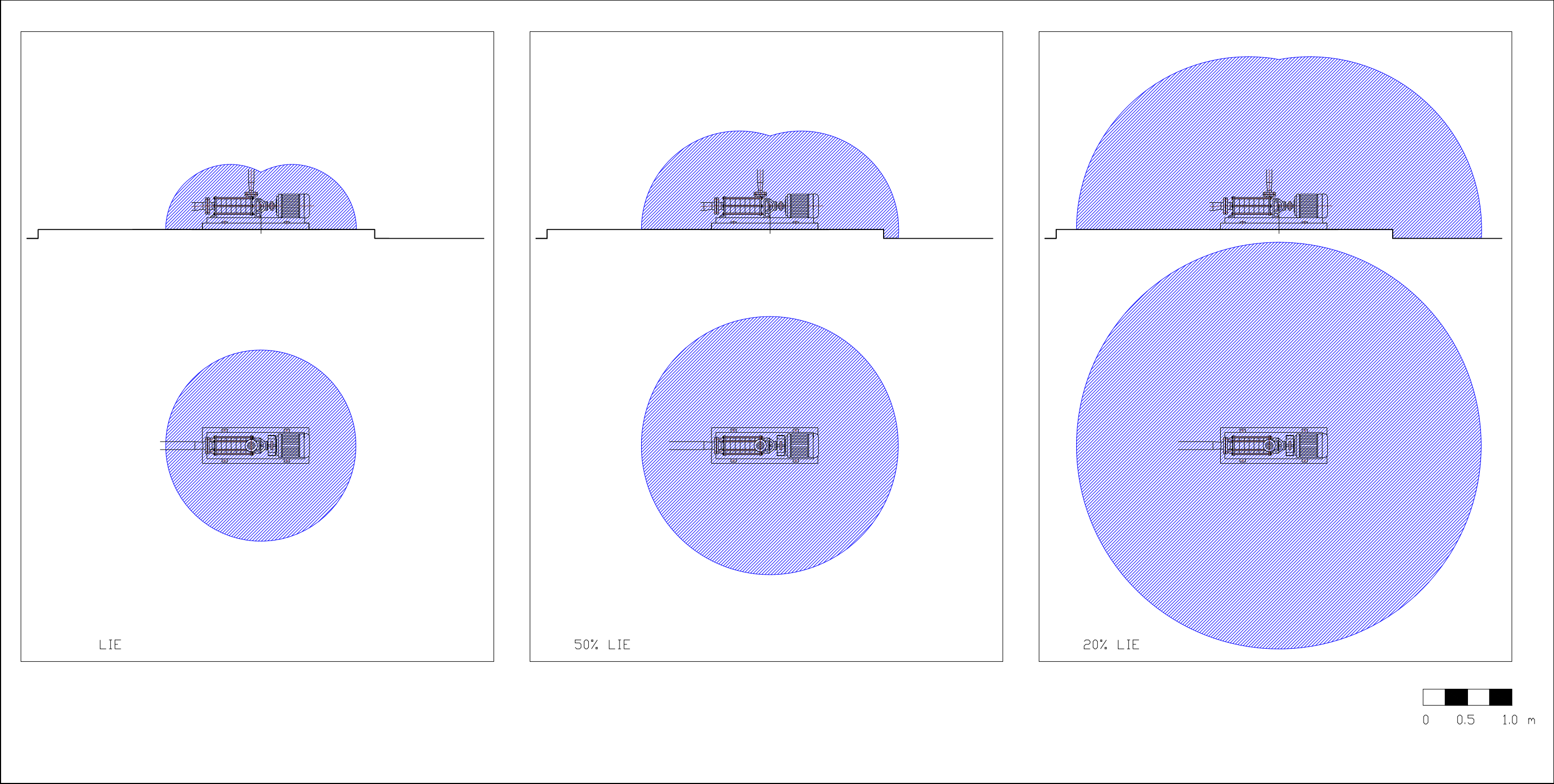


Figura 4.4. Representação do volume de atmosfera com valores de concentração igual ou superior aos critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

b) Cenário 2 – Libertação de butano em fase gasosa, admitindo uma fuga no veio de um compressor

Consideremos as condições iniciais que se apresentam na Tabela 4.4.:

Tabela 4.4. – Caracterização do equipamento e condições de funcionamento.

<i>Equipamento</i>	Compressor Corken F291
<i>Regime de funcionamento</i>	Pontual (2)h/dia
<i>Ø veio</i>	1 ¼"
<i>Velocidade de rotação</i>	825 rpm
<i>Pressão à admissão</i>	2 bar
<i>Pressão à saída (compressão)</i>	6 bar
<i>Capacidade</i>	22 m ³ /h
<i>Cota do ponto de libertação</i>	200 mm
<i>Velocidade do vento</i>	2 m/s (~ 7.2 km/h)
<i>Temperatura ambiente</i>	20 °C
<i>Dimensão da fuga</i>	Franca

Iremos admitir como principais causas para as fugas neste equipamento, a passagem de GPL da câmara de compressão para o cárter e posterior escape pelo veio motriz. Esta fuga está portanto associada a dois problemas: a passagem pelo pistão, que poderá dever-se a um desgaste nos segmentos e na vedação da haste do cilindro; e a passagem para o exterior devido ao desgaste na vedação do veio, que foi calculada para evitar o escape de óleo e não o de gás. Para o cálculo da dimensão da fuga consideraremos de forma semelhante ao cenário 1, da bomba de GPL, a relação entre a área do orifício da fuga e a folga média do veio do compressor em questão (Corken, 1999):

$$\begin{array}{l} \text{Øveio} = 1 \frac{1}{4} " = 32 \text{ mm} \\ \text{Folga média} = 7.5 \text{ } \mu\text{m (j5)} \\ K = 2 \end{array} \quad \longrightarrow \quad \text{Øfuga} = 1.386 \text{ mm}$$

As simulações efectuadas na rotina do programa *Zonas*, tomam como pressupostos para este cenário:

- ☒ Emissão de GPL em fase gasosa. Para quantificar essa emissão faremos uso da equação (3.13), uma vez que o escoamento em causa, é subsónico. Assumiremos um coeficiente de descarga, $C_d=0.62$ (CEBIT, 2004).
- ☒ O butano libertado dispersa-se como uma pluma, pelo que quantificaremos o seu comportamento como uma dispersão passiva, utilizando para isso a modelação gaussiana.
- ☒ Calcularemos então a concentração deste produto (equação (3.20)), e determinaremos um volume V_1 , da calote esférica que delimita a atmosfera explosiva para valores de concentração iguais ou superiores ao limite inferior de explosividade do butano.

A Tabela 4.5. apresenta os resultados das simulações efectuadas para este cenário.

Tabela 4.5. – Resultados para o cenário 2.

<i>Caudal libertado</i> <i>[kg/s]</i>	<i>Classe de Estabilidade</i>	<i>Distância à origem</i> <i>D_{LIE} [m]</i>	<i>Volume resultante</i> <i>V_1 [m³]</i>	<i>Comportamento</i>
1.204×10^{-3}	A	0.020	3.362×10^{-5}	<i>Subsónico</i>
	B	0.050	5.288×10^{-4}	<i>Subsónico</i>
	C	0.074	1.689×10^{-3}	<i>Subsónico</i>
	D	0.118	6.802×10^{-3}	<i>Subsónico</i>
	E	0.163	1.821×10^{-2}	<i>Subsónico</i>
	F	0.258	6.918×10^{-2}	<i>Subsónico</i>

Graficamente, os valores da concentração em função da distância ao ponto de libertação podem ser visualizados na Figura 4.5. para as várias classes de estabilidade atmosférica, considerando o cenário de uma fuga franca. Mais uma vez se evidencia a influencia da estabilidade atmosférica, quanto mais estável, maiores são as distâncias entre o ponto de libertação e a localização espacial que apresenta um valor de concentração igual ao limite inferior de explosividade do produto libertado (butano), o que resulta na definição de um volume para a atmosfera explosiva também de dimensões maiores.

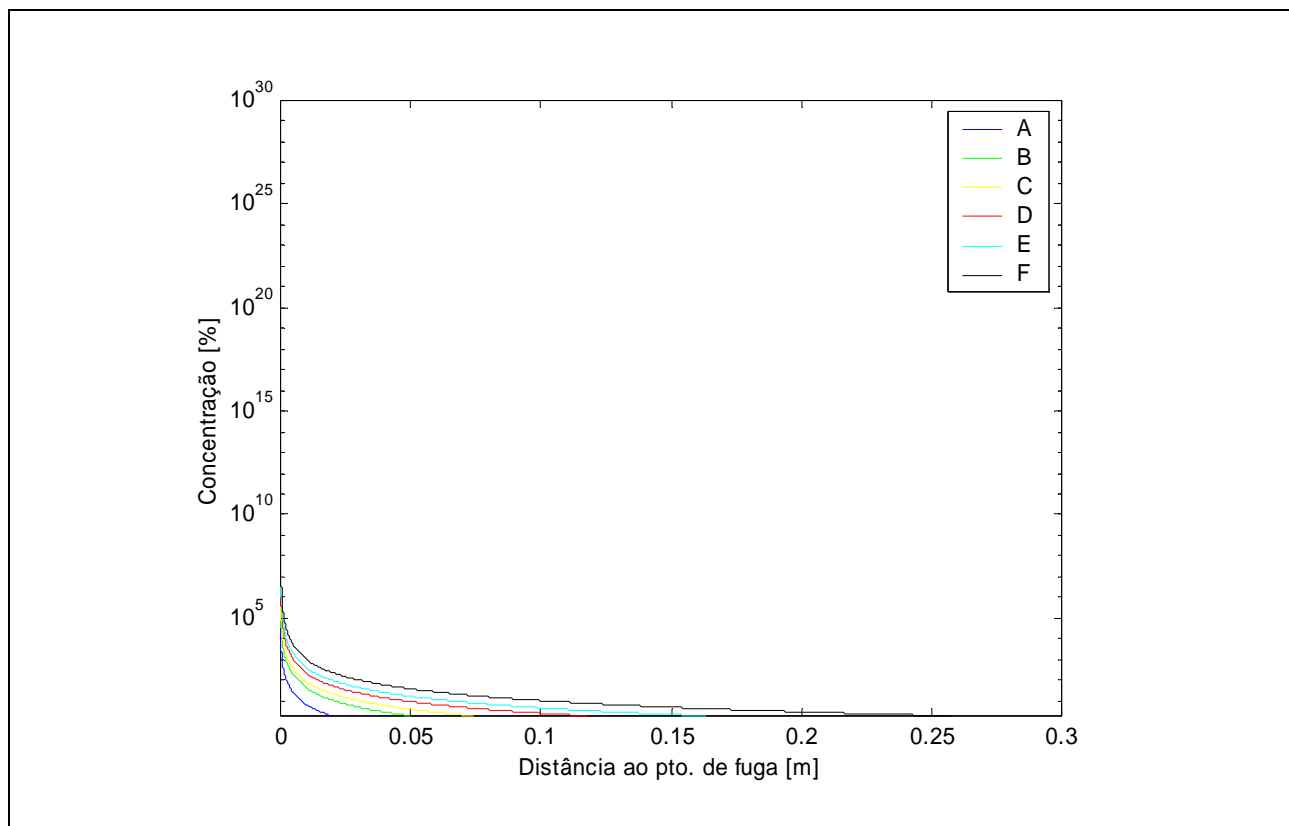


Figura 4.5. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Todas as classes de estabilidade).

Se considerarmos apenas uma das classes de estabilidade (optamos pela D), observaremos, à semelhança do que se fez para o cenário anterior, os perfis de concentrações correspondentes aos três tipos de fugas definidos, cuja representação gráfica se encontra na Figura 4.6.:

Fuga Franca: $\dot{m} = 1.204 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$

Fuga Média: $\dot{m} = 1.204 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$

Fuga Pequena: $\dot{m} = 1.204 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$

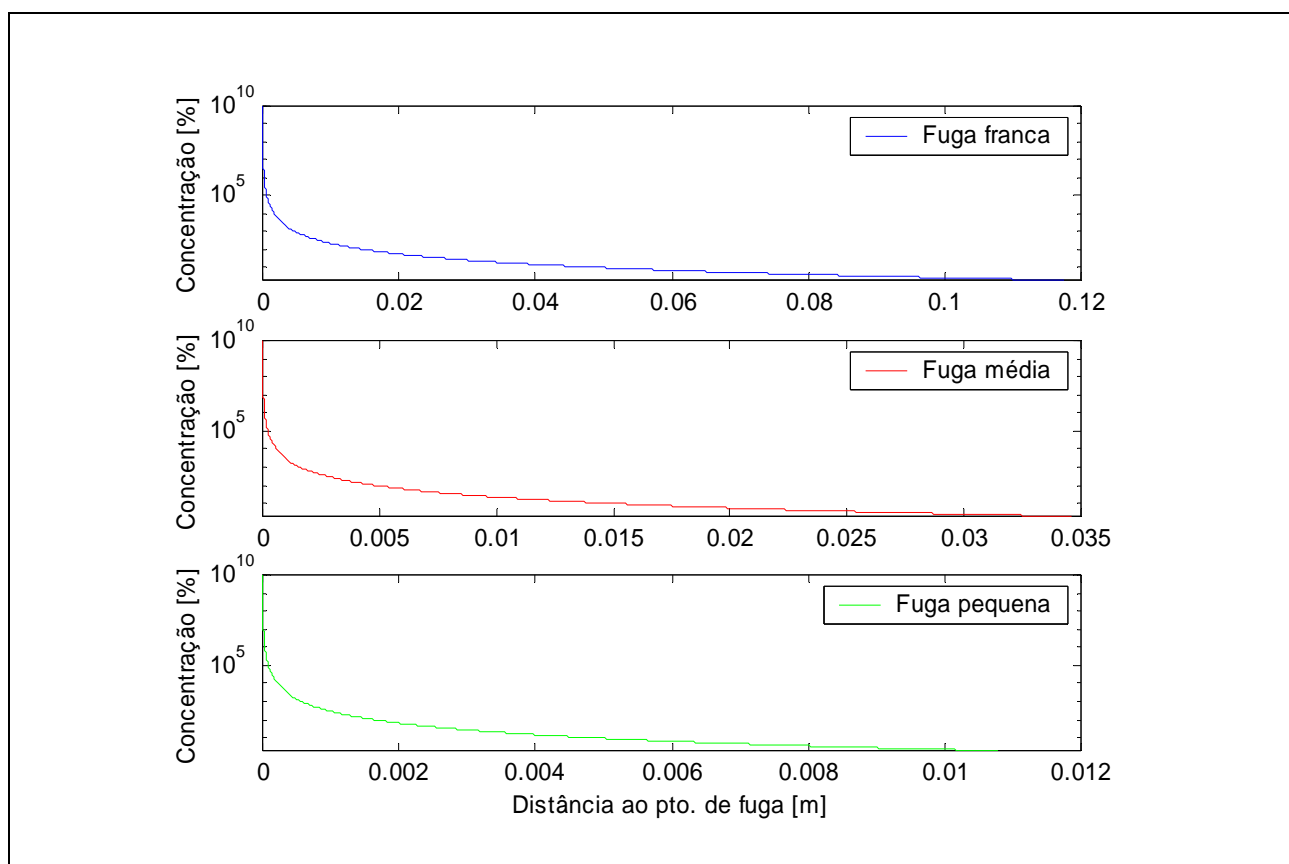


Figura 4.6. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para os vários tipos de fuga (Classe de estabilidade D e valores de concentração superiores ao LIE).

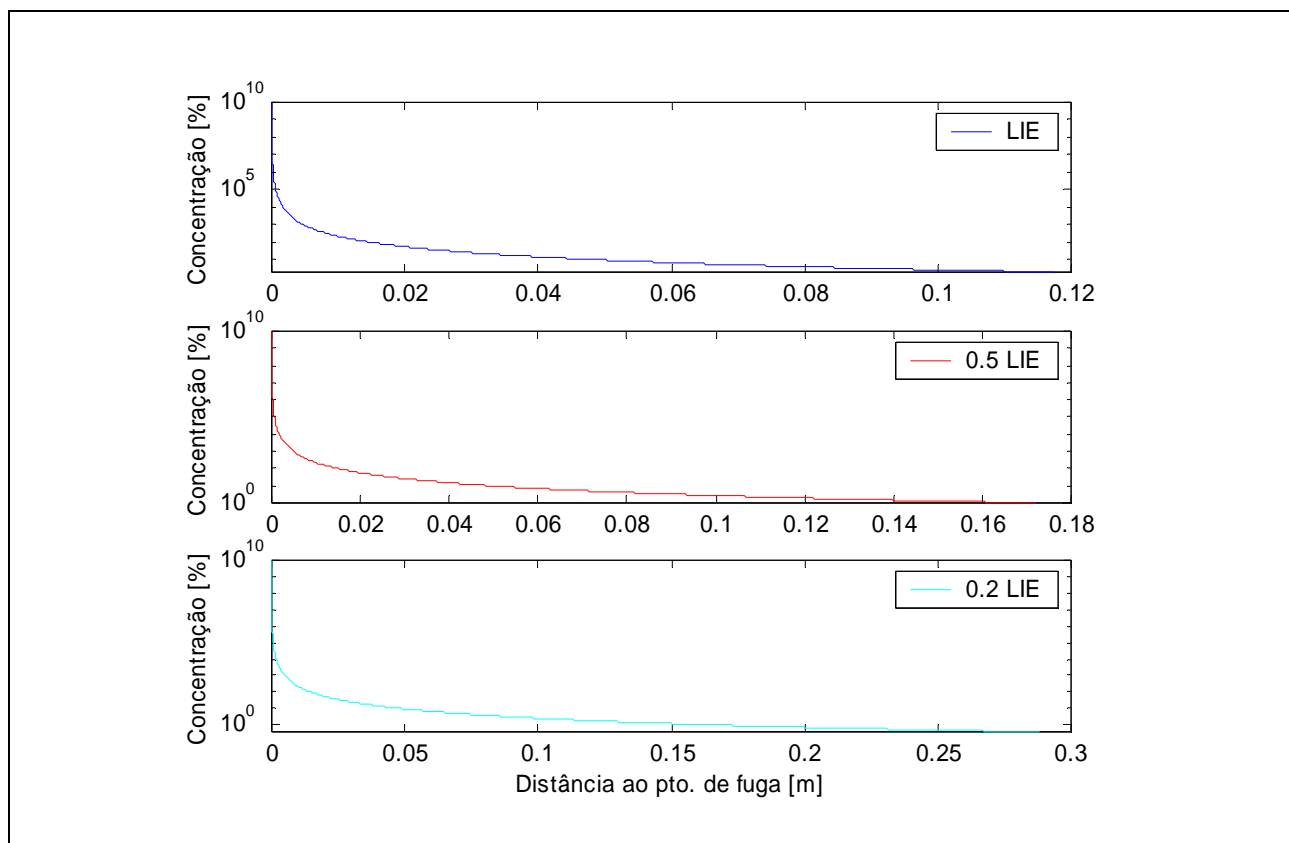


Figura 4.7. Concentração em função da distância ao ponto de libertação considerando os critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

A Figura 4.8. apresenta a representação esquemática sobre o equipamento do volume envolvente a esta libertação, considerando uma fuga franca e os distâncias aos níveis de inflamabilidade do butano correspondentes ao limite inferior, a 50% e a 20% desse valor.

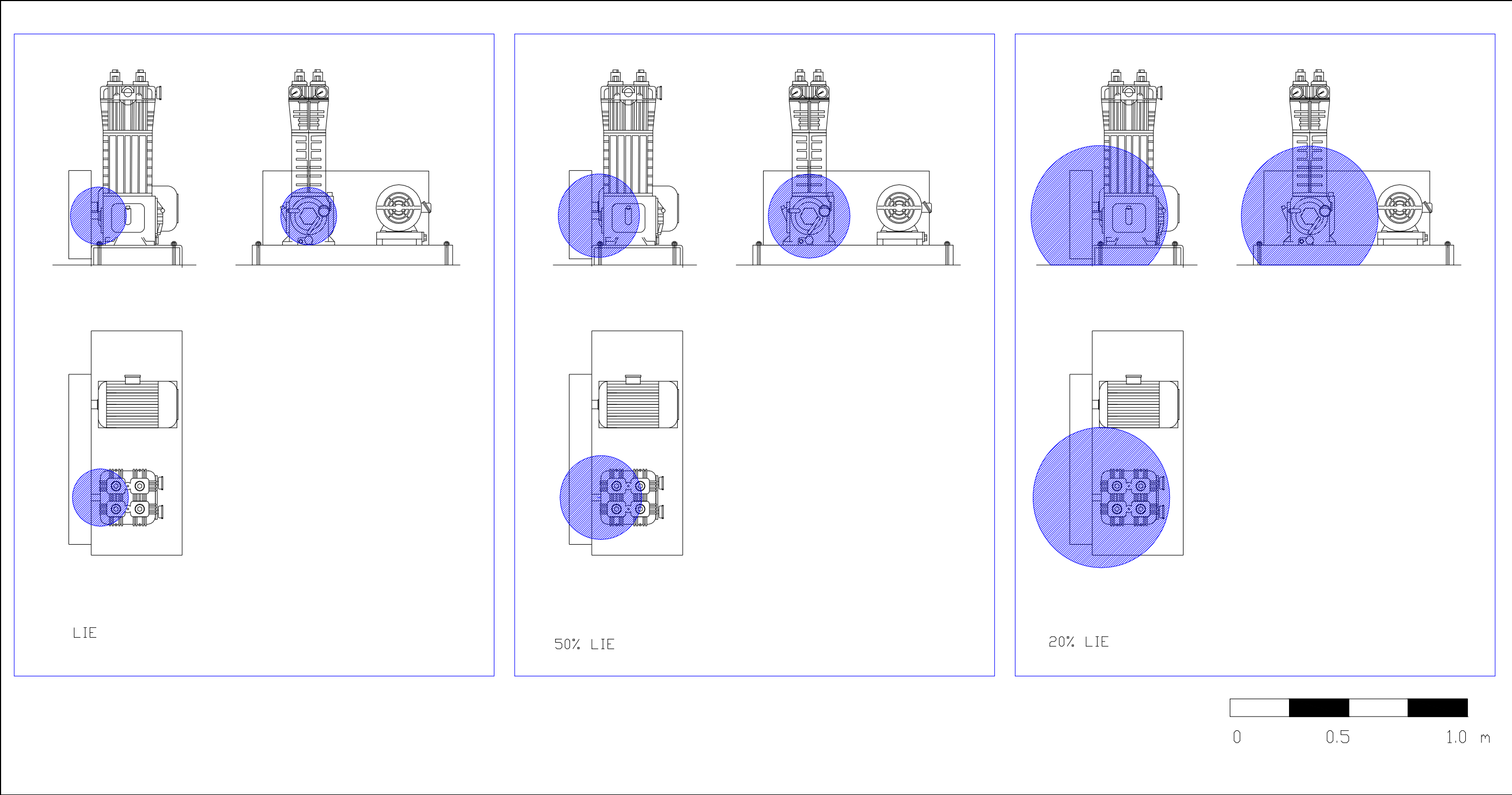


Figura 4.8. Representação do volume de atmosfera com valores de concentração igual ou superior aos critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

c) Cenário 3 – *Libertação de butano em fase líquida, admitindo uma fuga numa válvula de corte e seccionamento*

Consideremos as condições iniciais que se apresentam na Tabela 4.6.:

Tabela 4.6. – Caracterização do equipamento e condições de funcionamento.

<i>Equipamento</i>	Válvula AUCO 2", 300#
<i>Tipo</i>	Válvula de corte, macho cónico
<i>Regime de funcionamento</i>	1 a 10 vezes/dia
<i>Pressão de serviço</i>	3 bar
<i>Tipo de ligação</i>	Flangeada
<i>Tipo de actuação</i>	Manual
<i>Cota do ponto de libertação</i>	300 mm
<i>Velocidade do vento</i>	2 m/s (~ 7.2 km/h)
<i>Temperatura ambiente</i>	20 °C
<i>Classe de estabilidade</i>	D
<i>Dimensão da fuga</i>	Franca

Como vimos nos pontos 2.5. e 3.3.3. do presente trabalho, a quantificação das fugas de produto nestes equipamentos deve-se ao escape pelo interstício macho/sede da válvula, ou se quisermos entre o órgão móvel e o fixo. Como causa mais comum para este tipo de fuga, podem apontar-se questões associadas às acções de manutenção preventiva, nomeadamente a falta de lubrificação, cujo objectivo principal, para este tipo de válvulas, consiste em manter uma película de lubrificante entre o macho e a sede, que permita a respectiva actuação com um nível de esforço admissível, ao mesmo tempo que evita o contacto directo entre os dois elementos e o consequente desgaste da superfícies de contacto.

Para a realização das simulações, assumiremos que a área de fuga toma o valor de 0.25 mm^2 , valor que está de acordo com o referido na Tabela 3.8., do ponto 3.3.3. para a dimensão da válvula em causa (2"), admitindo-se o seguinte comportamento:

- ☒ A emissão dá-se em fase líquida, pelo que iremos utilizar a equação (3.11) para efectuar o cálculo do caudal libertado, assumindo um valor para o coeficiente de descarga $C_d=0.62$ (Cox *et al*, 2003).
- ☒ Ao verificar-se a libertação em fase líquida dá-se uma descompressão instantânea, cuja parcela que vaporiza de imediato será calculada utilizando a equação (3.12).
- ☒ A concentração em função da distância ao ponto de libertação, originada por uma dispersão como pluma, da parcela que sofre a descompressão instantânea, será calculada com recurso à equação (3.20).

- ☑ Com base no valor obtido para a distância correspondente a uma concentração de valor igual ao limite inferior de explosividade do butano $D1_{LIE}$, a partir do qual poderemos calcular o volume que configura uma calote esférica que delimita a atmosfera explosiva.
- ☑ A restante parcela é libertada sobre a forma de spray. Assumiremos que esse jacto forma um ângulo de 60° com a projecção vertical do ponto de libertação, dirigido para o solo e calcularemos a distância d , correspondente ao alcance do jacto até um ponto no solo, onde se formaria um charco. As gotículas do spray ao atingirem o solo, sofrem uma evaporação, dispersando-se como uma pluma. Para efectuar o cálculo do valor da concentração de butano em função da distância ao ponto de contacto do jacto com o solo, utilizaremos a equação (3.20.)
- ☑ Os valores que resultam do cálculo anterior, fornecer-nos-ão a informação necessária para que se compare com o valor da concentração correspondente ao limite inferior de explosividade do butano, e se determine o raio da calote esférica associada ao volume que o confine.

A Tabela 4.7. apresenta os resultados da simulação efectuada para este cenário, que a Figura 4.9. apresenta graficamente.

Tabela 4.7. – Resultados para o cenário 3.

<i>Caudal libertado [kg/s]</i>	<i>Classe de Estabilidade</i>	<i>Flash e dispersão</i>	<i>Jacto em spray e dispersão</i>	
		<i>Distância à origem $D1_{LIE}$ [m]</i>	<i>Distância à origem da projecção do jacto d [m]</i>	<i>Raio da calote esférica R_{LIE} [m]</i>
2.893×10^{-3}	D	0.045	0.520	0.183

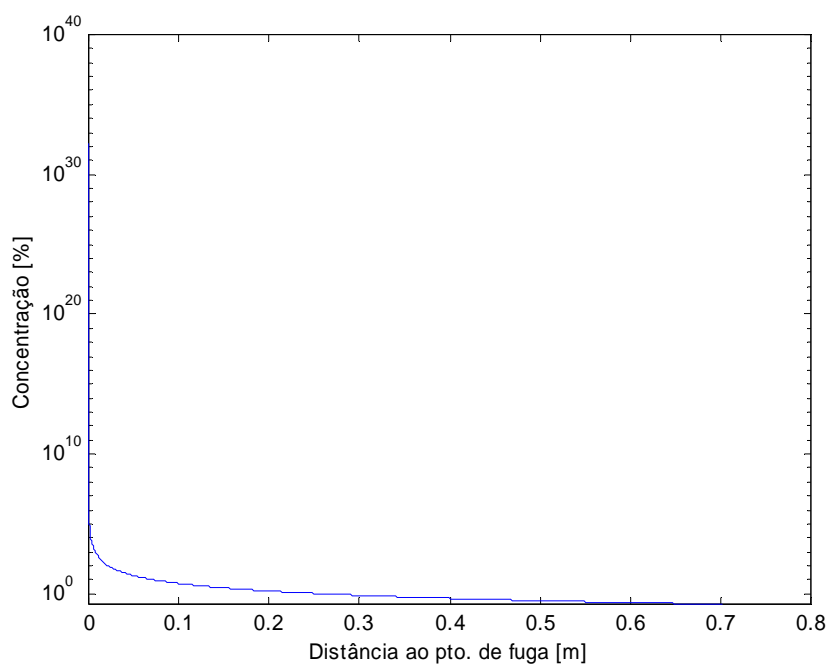


Figura 4.9. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Classe de estabilidade: D).

Fazendo variar o critério *tipo de fuga*, influenciaremos directamente o caudal libertado, e como consequência as distâncias associadas aos níveis de concentração, e uma variação ao critério valor limite, estaremos apenas a aumentar ou a reduzir o volume ou zona perigosa. As Figuras 4.10. e 4.11. evidenciam os resultados obtidos para estas situações, e a Figura 4.12. representa os respectivos limites.

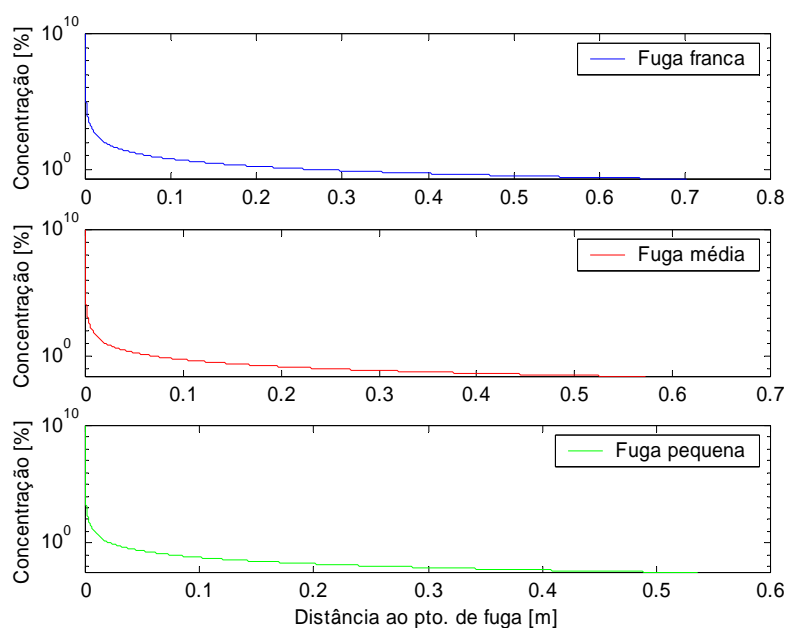


Figura 4.10. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Classe de estabilidade: D).

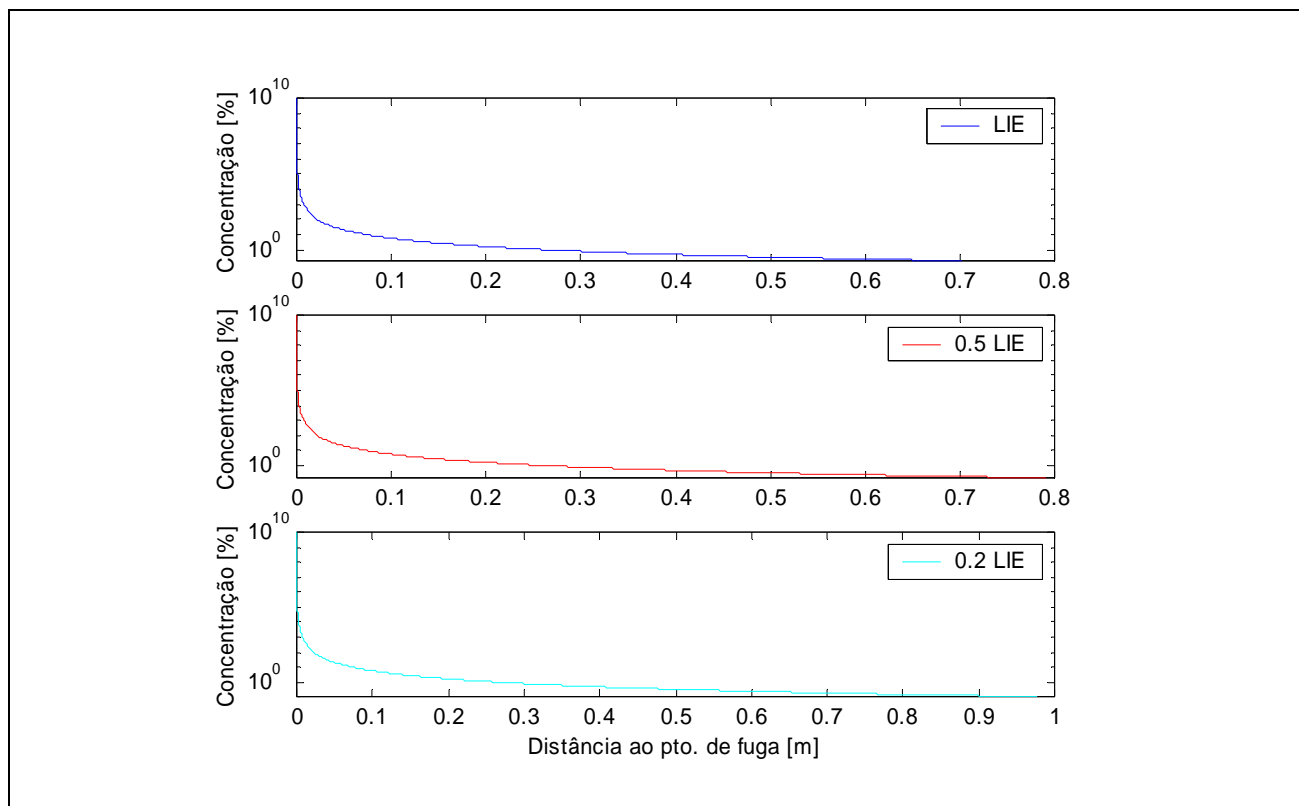


Figura 4.11. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Classe de estabilidade: D).

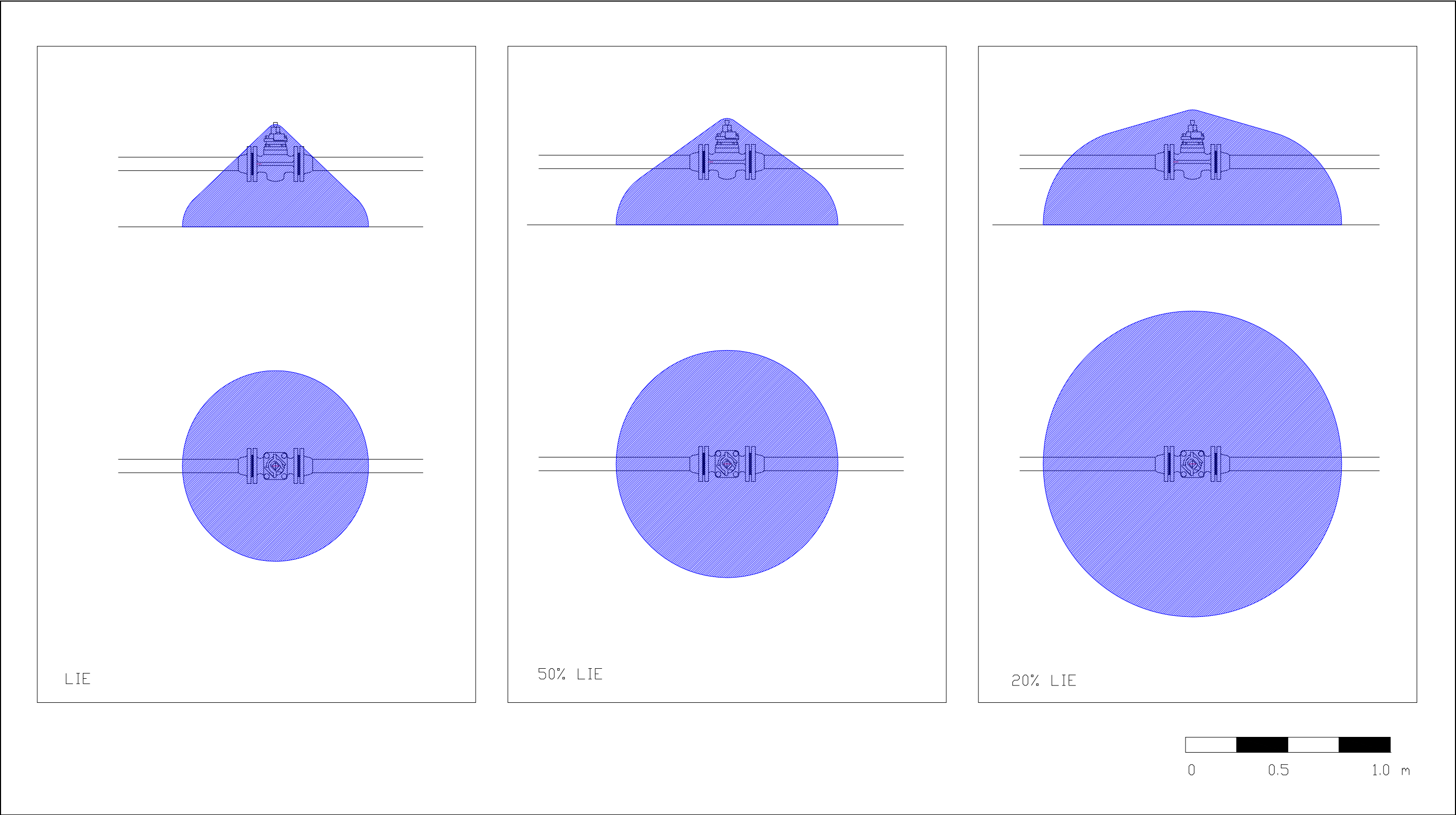


Figura 4.12. Representação do volume de atmosfera com valores de concentração igual ou superior aos critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

d) Cenário 4 – Liberação de butano em fase gasosa, admitindo uma fuga numa válvula de corte e seccionamento

Consideremos a caracterização do equipamento e condições iniciais da Tabela 4.8.

Tabela 4.8. – Caracterização do equipamento e condições iniciais.

Inputs	
<i>Equipamento</i>	Válvula AUCO 1", 300#
<i>Tipo</i>	Válvula de corte, macho cónico
<i>Regime de funcionamento</i>	1 a 10 vezes/dia
<i>Pressão de serviço</i>	3 bar
<i>Tipo de ligação</i>	Flangeada
<i>Tipo de actuação</i>	Manual
<i>Cota do ponto de libertação</i>	0.5 m
<i>Velocidade do vento</i>	2 m/s (~ 7.2 km/h)
<i>Temperatura ambiente</i>	20 °C
<i>Classe de estabilidade</i>	D
<i>Dimensão da fuga</i>	Franca

Este cenário é semelhante ao anterior, no que respeita à análise de causas para a ocorrência de uma fuga, pelo que não nos iremos repetir.

As simulações efectuadas no software *Zonas*, foram realizadas para um valor da área no ponto de fuga de 0.25 mm^2 , e tiveram em consideração ainda as seguintes condições iniciais:

- ☒ A emissão dá-se em fase gasosa, pelo que, para o cálculo do caudal far-se-á uso da equação (3.13) já que este resulta como subsónico. Assumiremos um coeficiente para a descarga igual a 0.62 (Cox *et al*, 2003).
- ☒ O produto libertado forma uma nuvem e dispersar-se-á como uma pluma, pelo que utilizaremos a equação (3.20.) para calcular a concentração em função da distância ao ponto de libertação.
- ☒ Tomando como referência o valor do limite inferior de explosividade do butano, podemos determinar o volume V_1 , que configura uma esfera que contém a atmosfera explosiva.

A Tabela 4.9. apresenta os resultados da simulação efectuada para este cenário.

Tabela 4.9. – Resultados – cenário 4.

<i>Caudal libertado</i> [kg/s]	<i>Classe de Estabilidade</i>	<i>Distância à origem</i> D_{LIE} [m]	<i>Volume resultante</i> V_1 [m ³]	<i>Comportamento</i>
1.288×10^{-4}	D	7.200×10^{-3}	1.590×10^{-6}	Subsónico
1.288×10^{-5}	D	2.400×10^{-3}	5.937×10^{-8}	Subsónico
1.288×10^{-6}	D	8.450×10^{-4}	2.527×10^{-9}	Subsónico

Onde os valores do caudal libertado correspondem aos seguintes tipos de libertações:

$$\dot{m} = 1.288 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \quad \text{Fuga Franca}$$

$$\dot{m} = 1.288 \times 10^{-5} \text{ kg/s} \quad \text{Fuga Média}$$

$$\dot{m} = 1.288 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \quad \text{Fuga Pequena}$$

As Figuras 4.13. e 4.14. evidenciam graficamente os resultados obtidos, designadamente para os vários tipos de fuga e para os três critérios de valores limite para a concentração: LIE; 50% LIE e 20% LIE do butano.

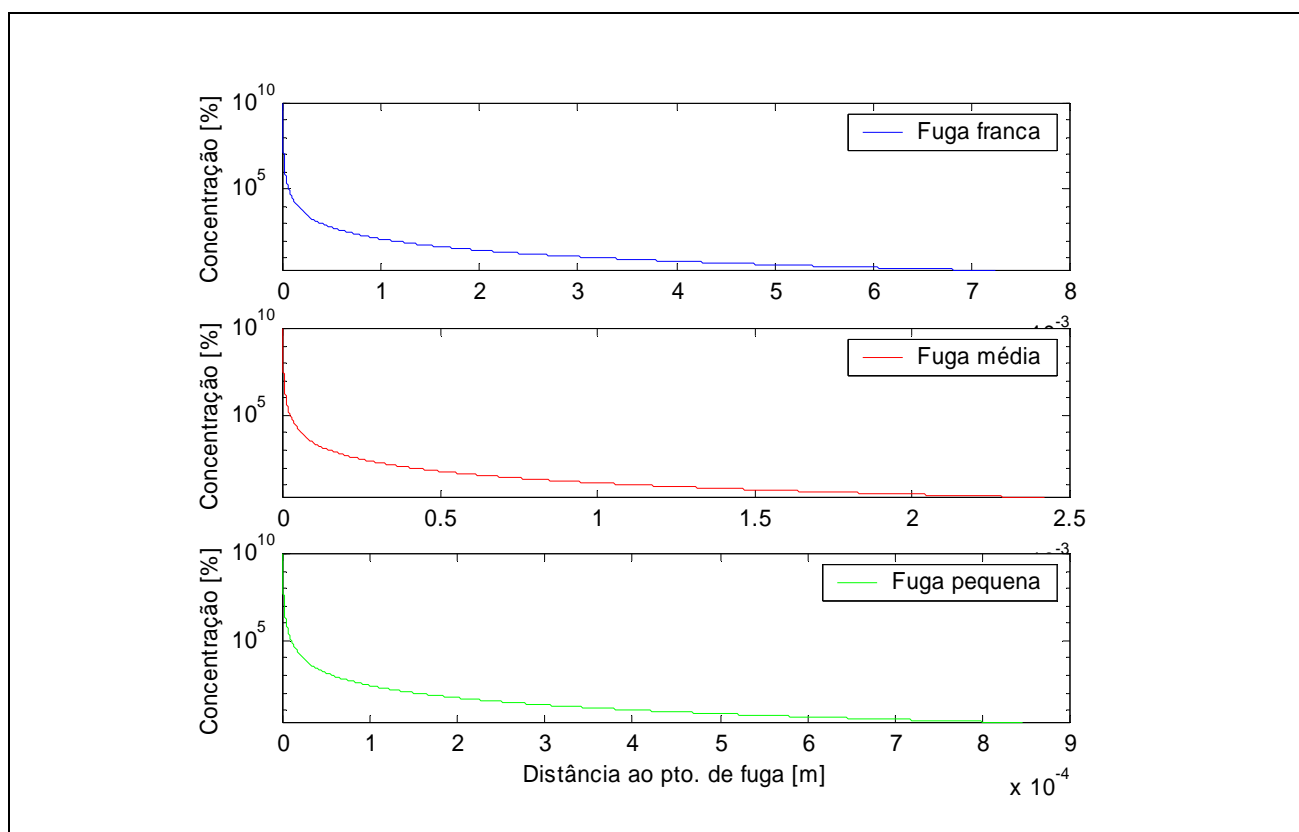


Figura 4.13. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Classe de estabilidade: D).

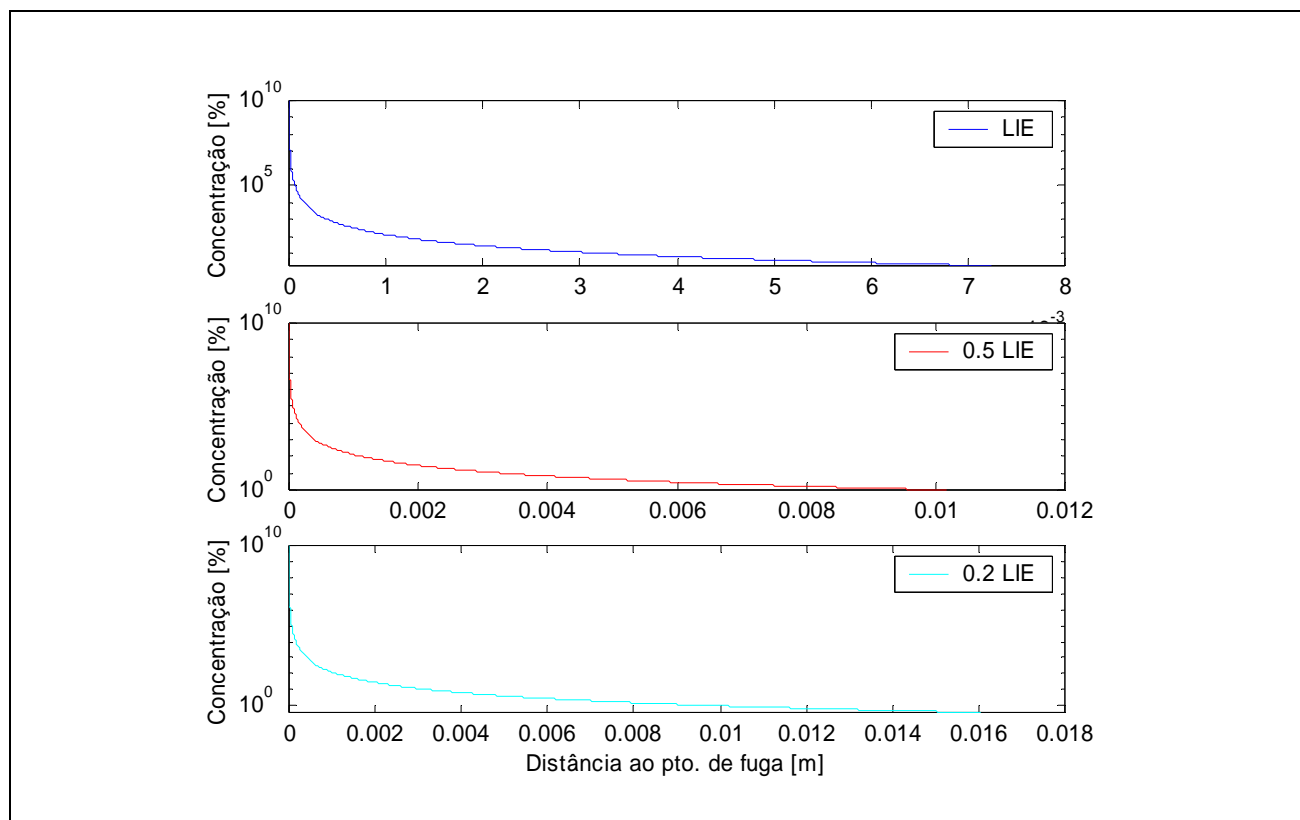


Figura 4.14. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga Franca (Classe de estabilidade: D).

A Figura 4.15. permite visualizar como na realidade estas distâncias se traduzem em limites físicos em relação ao ponto de libertação.

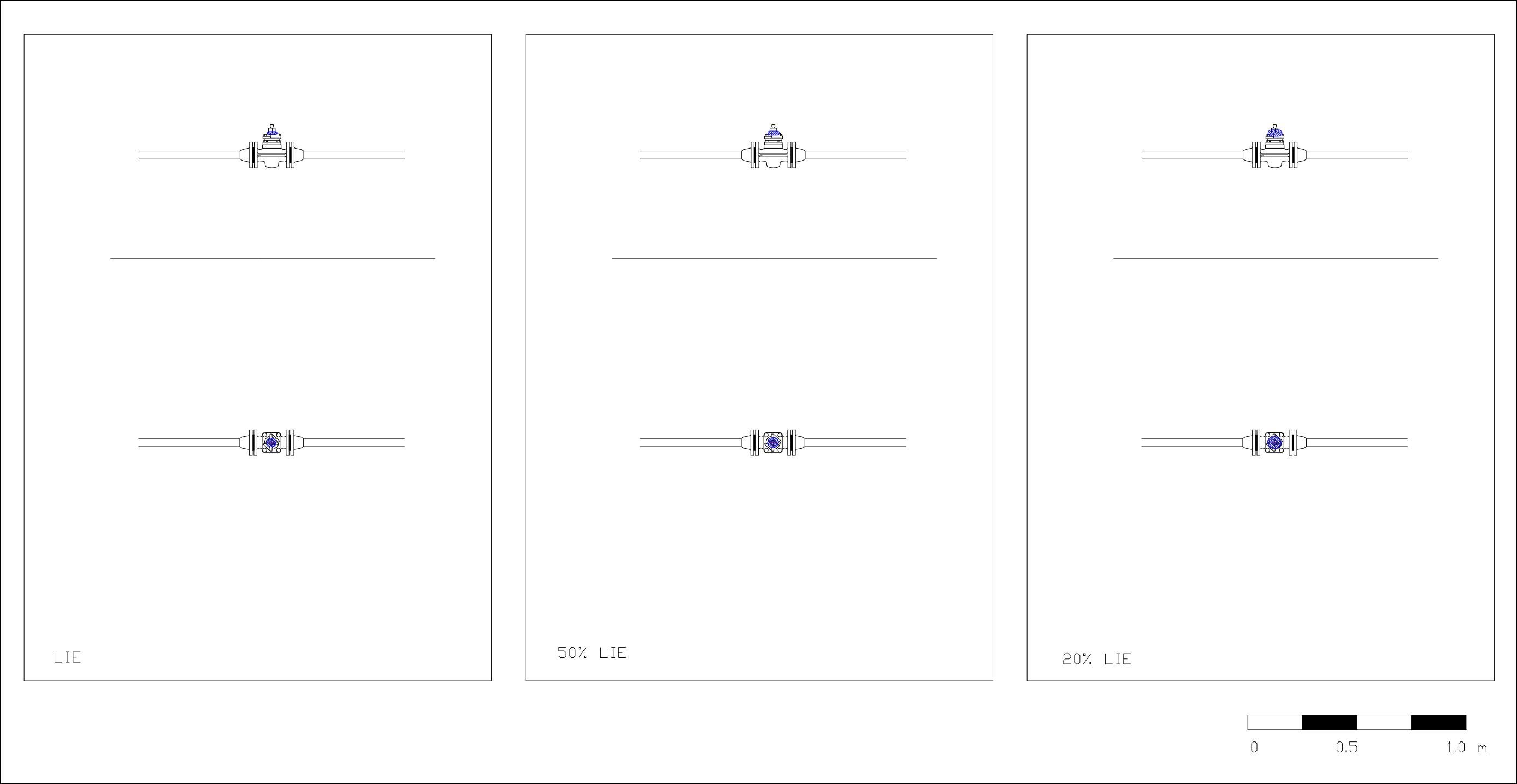


Figura 4.15. Representação do volume de atmosfera com valores de concentração igual ou superior aos critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

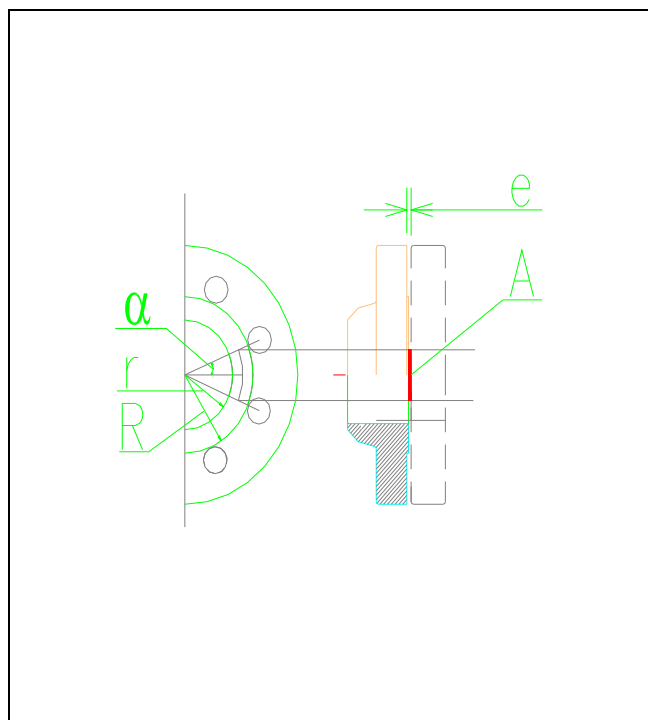
e) Cenário 5 – Liberação de butano em fase líquida, admitindo uma fuga numa ligação flangeada

Consideremos a caracterização do equipamento e condições iniciais da Tabela 4.10.

Tabela 4.10. – Caracterização do equipamento e condições iniciais (Trouvay & Cauvin, 2001).

Inputs	
Equipamento	Ligação flangeada 2", 300#
Tipo de flange	ANSI B 16-5, 2", 300#, Welding Neck
Tipo de junta	Prensado de fibras de 1mm
Pressão de serviço	6 bar
Cota do ponto de libertação	0.4 m
Velocidade do vento	2 m/s (~7.2 km/h)
Temperatura ambiente	20 °C
Dimensão da fuga	Pequena

Tendo em conta a descrição efectuada para a ocorrência de fugas neste tipo de equipamento (ponto 3.3.3. do presente trabalho), consideraremos, para as dimensões em questão neste cenário, que a fuga se dá por defeito ou deterioração de uma secção da junta entre dois pernos consecutivos. A área do ponto de fuga será calculada, assumindo um valor de raio médio para o sector da coroa circular circunscrita por dois furos consecutivos, como se mostra na Figura 4.16.:



$$A = k \cdot e \cdot 2l$$

$$l = \bar{r} \cdot \sin(\alpha)$$

$$\bar{r} = \frac{r + R}{2}$$

O que resulta para o tipo de flanges em causa:

$$r = 26.25mm$$

$$R = 46.05mm$$

$$k = 0.1$$

$$\alpha = \frac{\pi}{8}$$

$$e = 1mm$$

$$A = 2.767mm^2$$

Figura 4.16. Dimensões para uma flange ASA série 300# $\varnothing_n=2''$

(Trauvay & Cauvin, 1985).

Presidiram à realização das simulações no programa *Zonas*, os seguintes pressupostos:

- ☑ Como a emissão acontece em fase líquida, utilizar-se-á a equação (3.11) para calcular o caudal libertado, assumindo um valor para o coeficiente de descarga de 0.62 (Cox *et al*, 2003).
- ☑ Como em cenários anteriores, verifica-se uma descompressão instantânea imediatamente após a libertação. A equação (3.12) permitirá efectuar o cálculo dessa parcela sujeita a esse fenómeno.
- ☑ A dispersão realiza-se de acordo com o comportamento de uma pluma, pelo que utilizaremos a equação (3.20), para o cálculo da concentração em função da distância ao ponto de libertação.
- ☑ A restante parcela é projectada como spray. Para determinar a distância percorrida pelo jacto até um ponto no solo onde se formaria um charco, iremos assumir que o jacto forma um ângulo de 60° com a vertical ao ponto de libertação, na direcção do solo. A partir desse ponto observa-se uma dispersão como pluma.
- ☑ Com base nos valores obtidos no ponto anterior, calcular-se-á o raio da esfera que circunscreve um volume de pontos com valores de concentração iguais ou superiores ao limite inferior de explosividade do butano.

A Tabela 4.11. apresenta os resultados das simulações efectuadas para este cenário.

Tabela 4.11 – Resultados – cenário 5.

<i>Caudal libertado</i> <i>[kg/s]</i>	<i>Classe de Estabilidade</i>	<i>Flash e dispersão</i>	<i>Jacto em spray e dispersão</i>	
		<i>Distância à origem</i> <i>D1_{LIE} [m]</i>	<i>Distância à origem da projecção do jacto</i> <i>d [m]</i>	<i>Raio da calote esférica</i> <i>R_{LIE} [m]</i>
4.531 x10 ⁻⁴	D	0.017	0.693	0.067
4.531 x10 ⁻²	D	0.198	0.693	0.898

A Figura 4.17. mostra graficamente os valores da concentração em função da distância ao ponto de libertação, para as condições iniciais apresentadas na Tabela 4.10.

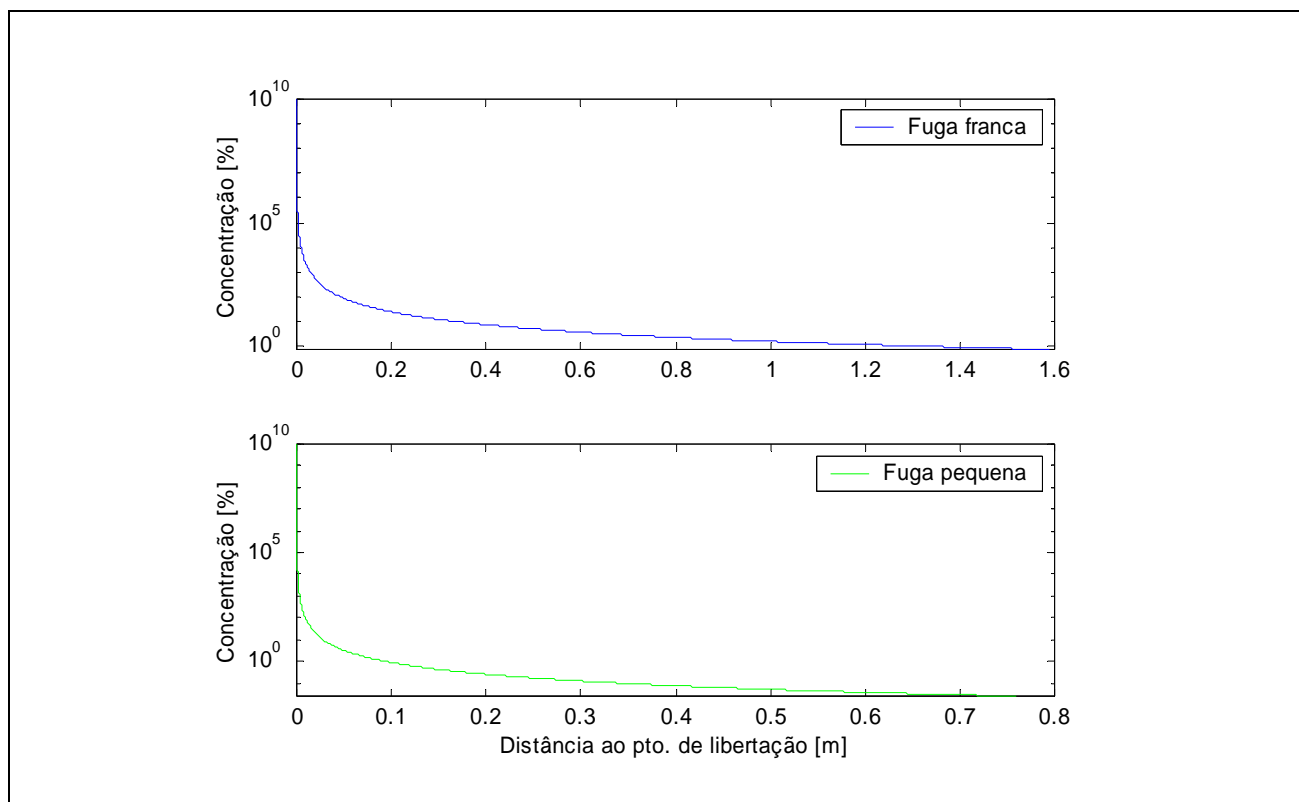


Figura 4.17. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para os dois tipos de fugas considerados (Classe de estabilidade: D, critério de paragem: LIE).

Para este tipo de equipamento não estão quantificadas com que frequência se verificam fugas com uma dimensão “média” (Cox e tal., 2003), pelo que apenas consideraremos dois tipos de fuga: fuga franca, que corresponde à perda de secção entre dois pernos consecutivos da ligação flangeada, e fuga pequena, que quantificaremos como em termos de área de libertação, como um décimo da primeira.

A Figura 4.18. apresenta, para uma fuga “pequena”, os valores da concentração desde o ponto de libertação, para os critérios LIE, 50%LIE e 20%LIE, o que nos permite traçar um limite físico em torno do ponto de libertação, na Figura 4.19.

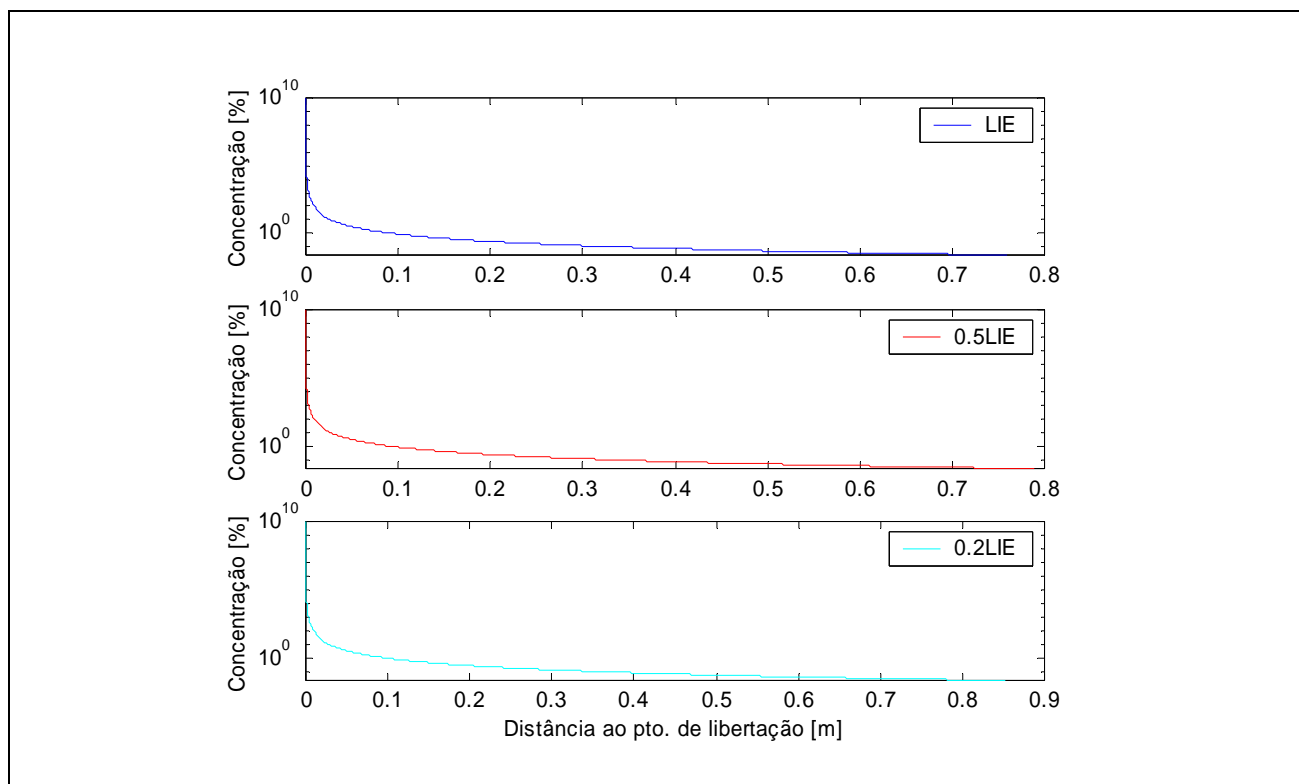


Figura 4.18. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para uma fuga pequena (Classe de estabilidade: D).

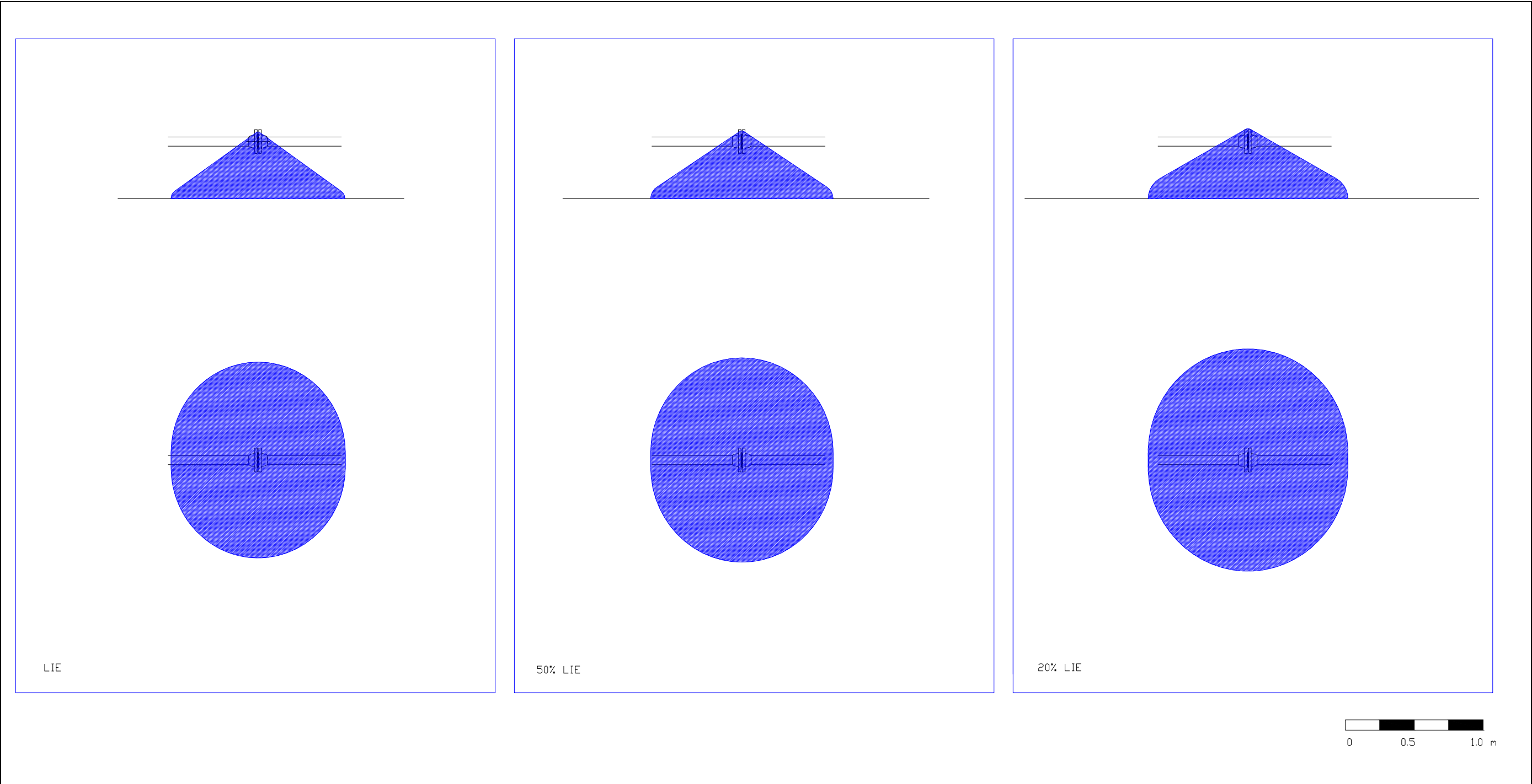


Figura 4.19. Representação do volume de atmosfera com valores de concentração igual ou superior aos critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga pequena).

f) Cenário 6 – Liberação de butano em fase gasosa, admitindo uma fuga numa ligação flangeada

A Tabela 4.13. contém as condições iniciais e o equipamento alvo deste cenário.

Tabela 4.13 – Caracterização do equipamento e condições iniciais (Trouvay & Cauvin, 2001).

Inputs	
<i>Equipamento</i>	Ligação flangeada 1 ½", 300#
<i>Tipo de flange</i>	ANSI B 16-51 ½", 300#, Welding Neck
<i>Tipo de junta</i>	Prensado de fibras de 1.5mm
<i>Pressão de serviço</i>	3 bar
<i>Cota do ponto de libertação</i>	0.5 m
<i>Velocidade do vento</i>	2 m/s (~7.2 km/h)
<i>Temperatura ambiente</i>	20 °C
<i>Dimensão da fuga</i>	Franca

Neste cenário, além dos valores dimensionais que caracterizam este tipo de ligação, que se prendem com este exemplo se tratar de uma linha de processo de fase gasosa, portanto ligada à movimentação de produto, a origem da falha é idêntica à descrita no cenário 5.

Os valores para a área de libertação foram calculados de forma semelhante à descrita no Cenário 5, tendo resultado os seguintes valores:

$$r = 20.45$$

$$R = 36.5$$

$$\alpha = \frac{\pi}{8}$$

$$e = 1.5mm$$

$$A = 32.691mm^2$$

Os pressupostos para as simulações efectuadas no software Zonas, foram os seguintes:

- ☒ Emissão de butano em fase gasosa. Utilizar-se-á a equação (3.11) para calcular o caudal libertado, onde assumiremos um valor para o coeficiente de descarga de 0.62 (Cox *et al*, 2003).
- ☒ A dispersão realiza-se de acordo com o comportamento de uma pluma, pelo que utilizaremos a equação (3.20), para o cálculo da concentração em função da distância ao ponto de libertação.
- ☒ Com base nos valores obtidos no ponto anterior, poder-se-á calcular o volume que circunscreve a atmosfera explosiva, considerando o limite inferior de explosividade do butano.

A Tabela 4.14. apresenta os resultados das simulações efectuadas para este cenário.

Tabela 4.14. – Resultados – cenário 6.

<i>Caudal libertado</i> [kg/s]	<i>Classe de Estabilidade</i>	<i>Distância à origem</i> D_{LIE} [m]	<i>Volume resultante</i> V_1 [m ³]	<i>Comportamento</i>
1.685×10^{-2}	D	8.750×10^{-2}	2.805×10^{-3}	Subsónico
1.685×10^{-4}	D	8.300×10^{-3}	2.357×10^{-6}	Subsónico

Estes resultados podem ser traduzidos graficamente nas Figuras 4.20, 4.21 e 4.22.

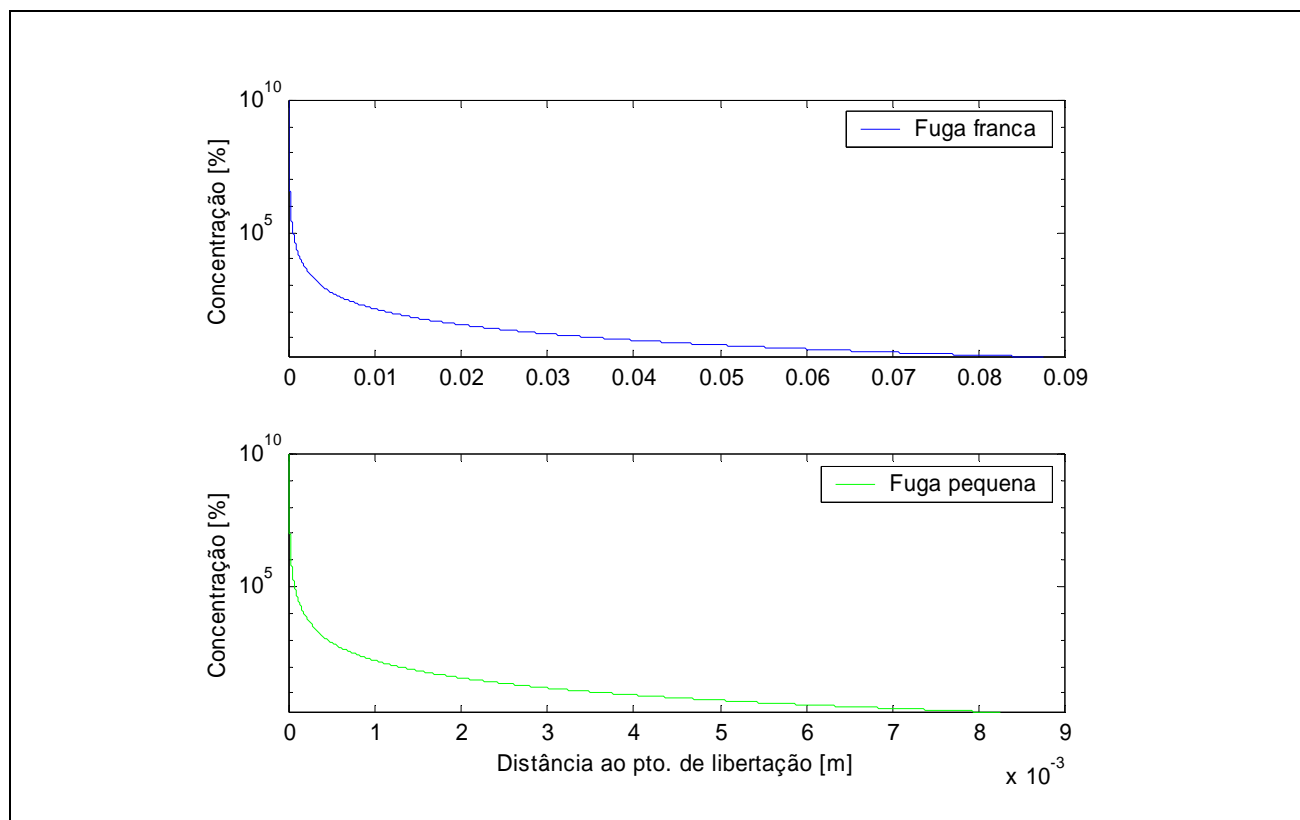


Figura 4.20. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para os dois tipos de fugas considerados (Classe de estabilidade: D, critério de paragem: LIE).

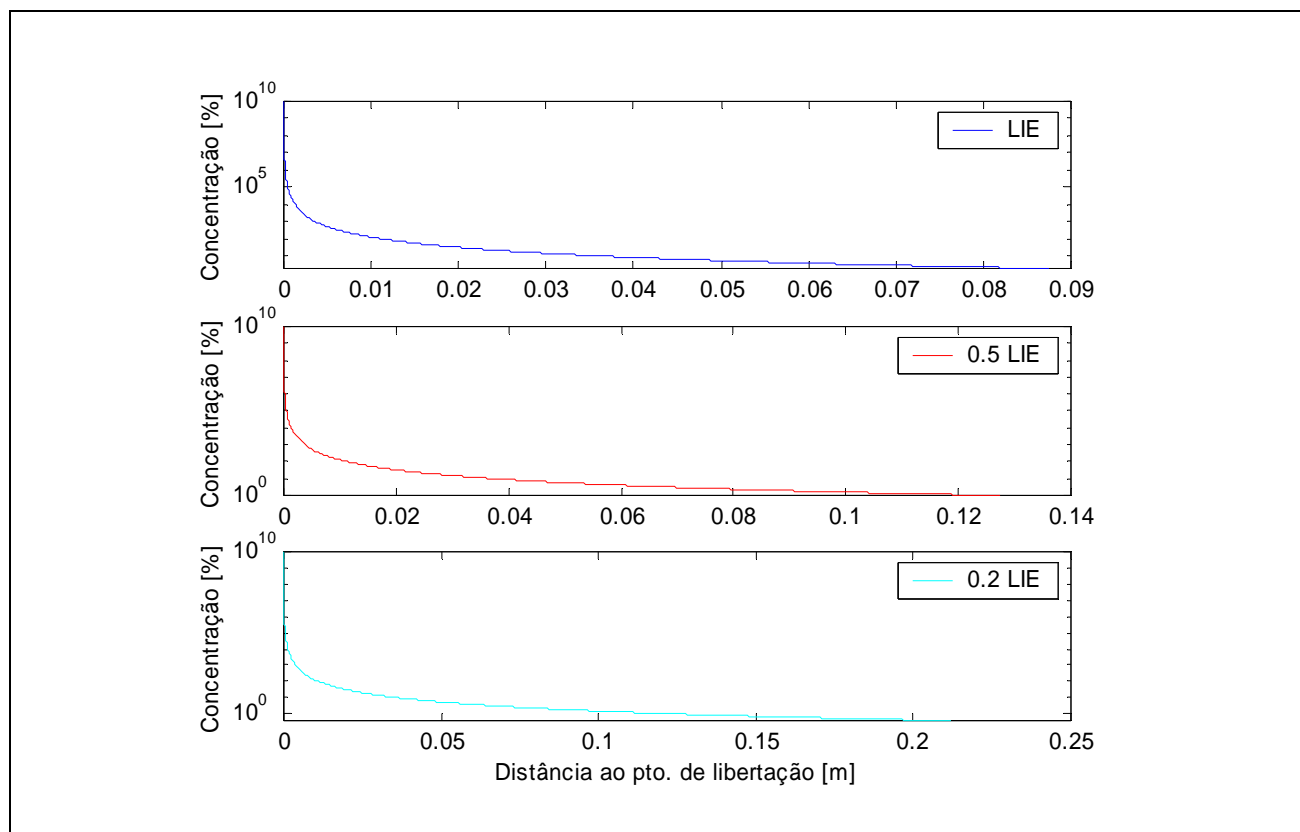


Figura 4.21. Concentração em função da distância ao ponto de libertação para os dois tipos de fugas considerados (Classe de estabilidade: D, critério de paragem: LIE).

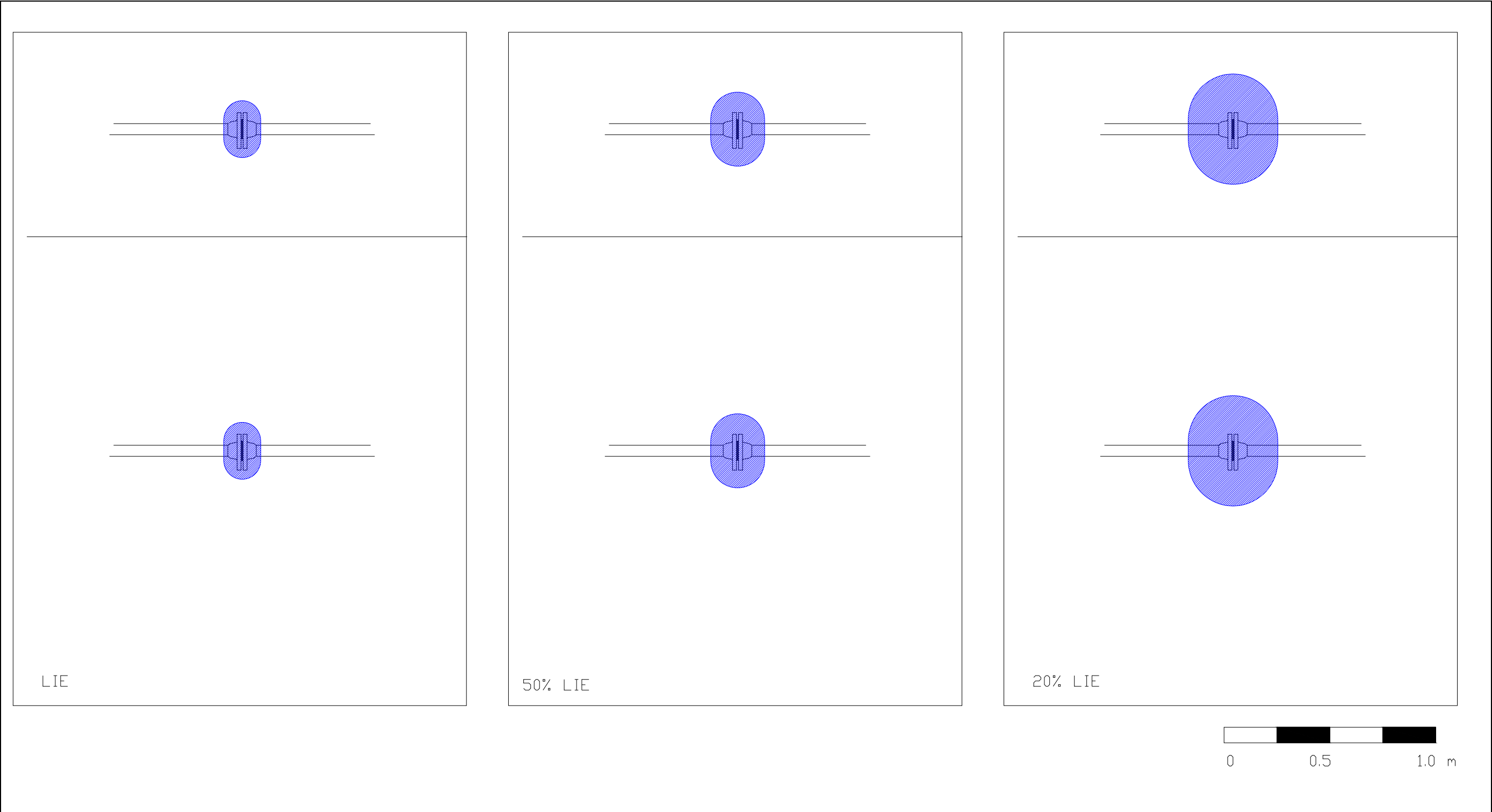


Figura 4.22. Representação do volume de atmosfera com valores de concentração igual ou superior aos critérios: LIE, 0.5LIE e 0.2LIE (Classe de estabilidade D e fuga franca).

4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS POTENCIALMENTE EXPLOSIVAS / DESENHO DAS ZONAS ATEX

4.2.1. Zonagens parciais

Tendo em conta os resultados do ponto anterior, para os vários cenários e respectivas condições iniciais, abordaremos a classificação das zonas potencialmente explosivas (zonagem ATEX) considerando os pressupostos teóricos apresentados nas Tabelas 3.9 e 3.10. designadamente, os critérios de classificação face à probabilidade de ocorrência de uma atmosfera potencialmente explosiva e a probabilidade de ocorrência de uma fuga por tipo de equipamento.

A Tabela 4.15. apresenta o resumo da classificação das zonas e a geometria que lhes está associada. Consideraram-se os resultados mais desfavoráveis em termos de extensão e perigosidade, para as condições normais de funcionamento e condicionantes ambientais mais frequentes (de acordo com caracterização da amostra, apresentada no ponto 3.1).

Tabela 4.15. – Resumo da zonagem ATEX, para os cenários em análise.

Cenário	Tipo de fuga potencial	Classificação ATEX	Extensão da Zona ATEX
1	Pequena	Zona 1	Volume esférico junto ao ponto de libertação
	Franca	Zona 2	Envolvente à Zona 1
2	Franca	Zona 2	Volume esférico junto ao ponto de libertação
	Pequena	Zona 1	Envolvente à Zona 1
3	Franca	Zona 2	Volume envolvente ao ponto de libertação, com projecção no solo
4	Franca	Zona 2	Volume envolvente ao ponto de libertação
5	Franca	Zona 2	Volume envolvente ao ponto de libertação, com projecção no solo
6	Franca	Zona 2	Volume envolvente ao ponto de libertação

As Figuras seguintes, apresentam respectivamente a visualização em planta e em corte do volume confinado pela atmosfera explosiva resultante da libertação em causa, já que para distâncias inferiores às apresentadas, obtém-se concentrações superiores ao limite inferior de inflamabilidade do butano. Em particular:

- A Figura 4.23. traduz a zonagem ATEX para a bomba de GPL, considerada no cenário 1;

- A Figura 4.24. traduz a zonagem para o cenário 2, relativo ao compressor de GPL;
- A Figura 4.25. apresenta o mesmo resultado para o cenário 3, válvula de corte em fase líquida;
- A Figura 4.26. apresenta os resultados do cenário 4, válvula de corte em fase gasosa;
- A Figura 4.27. apresenta os resultados do cenário 5, ligação flangeada em fase líquida;
- A Figura 4.28. traduz os resultados para uma ligação flangeada em fase gasosa, cenário 6.

Para os cenários 1 e 2, foram determinadas zonas do tipo 1 e do tipo 2. A *Zona 1* resulta da probabilidade de ocorrência de uma fuga pequena, sendo a sua extensão em função do comportamento descrito no cenário 1, para uma libertação de butano em fase líquida, nas condições de funcionamento e envolvente ambiental aí enumeradas. A *Zona 2*, por seu lado, resulta da probabilidade de ocorrência quer de uma fuga franca, quer de uma fuga média, sendo que em termos de extensão da zona, adoptaram-se os valores mais desfavoráveis (fuga franca).

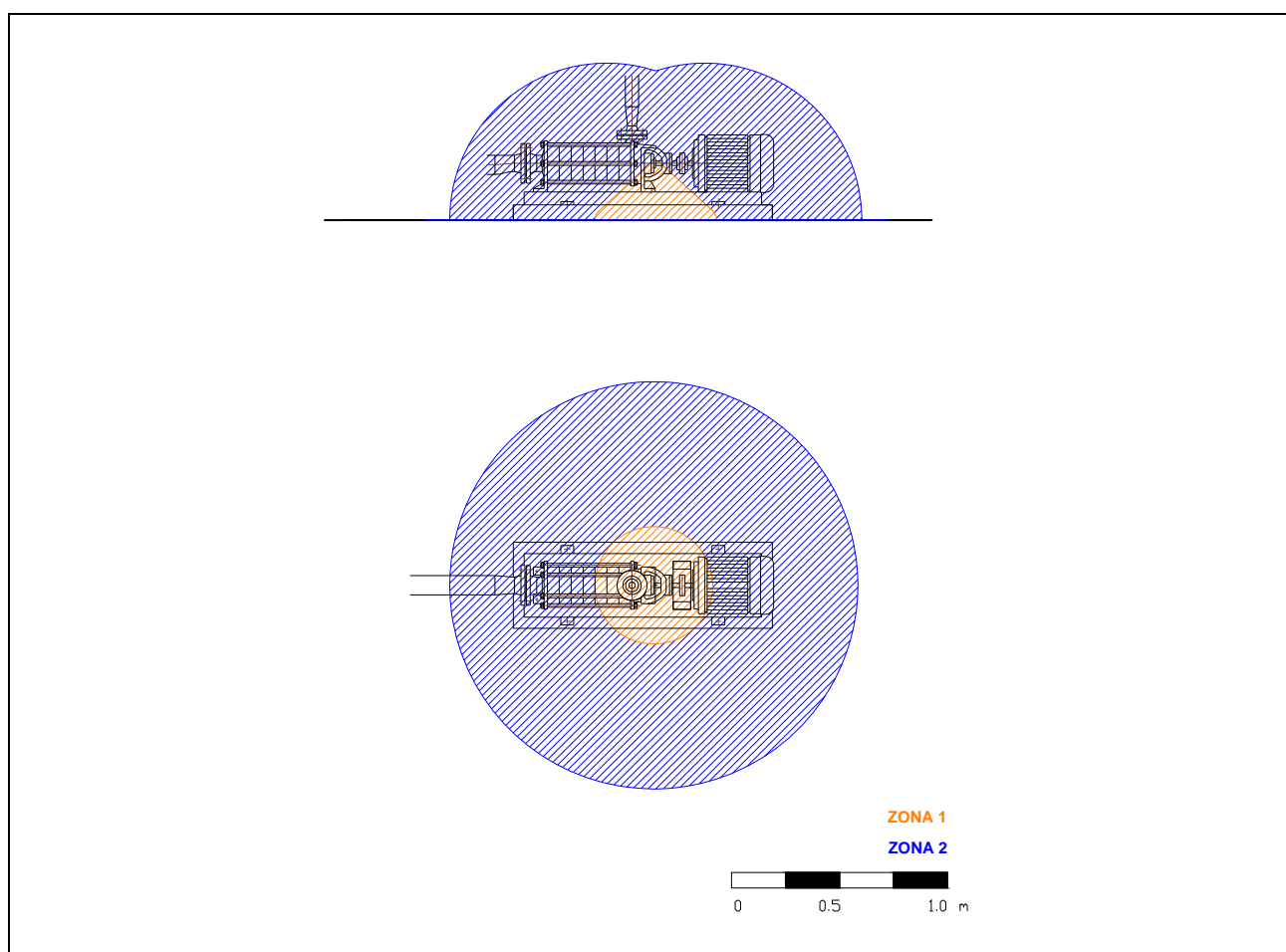


Figura 4.23. Zonagem para o Cenário 1.

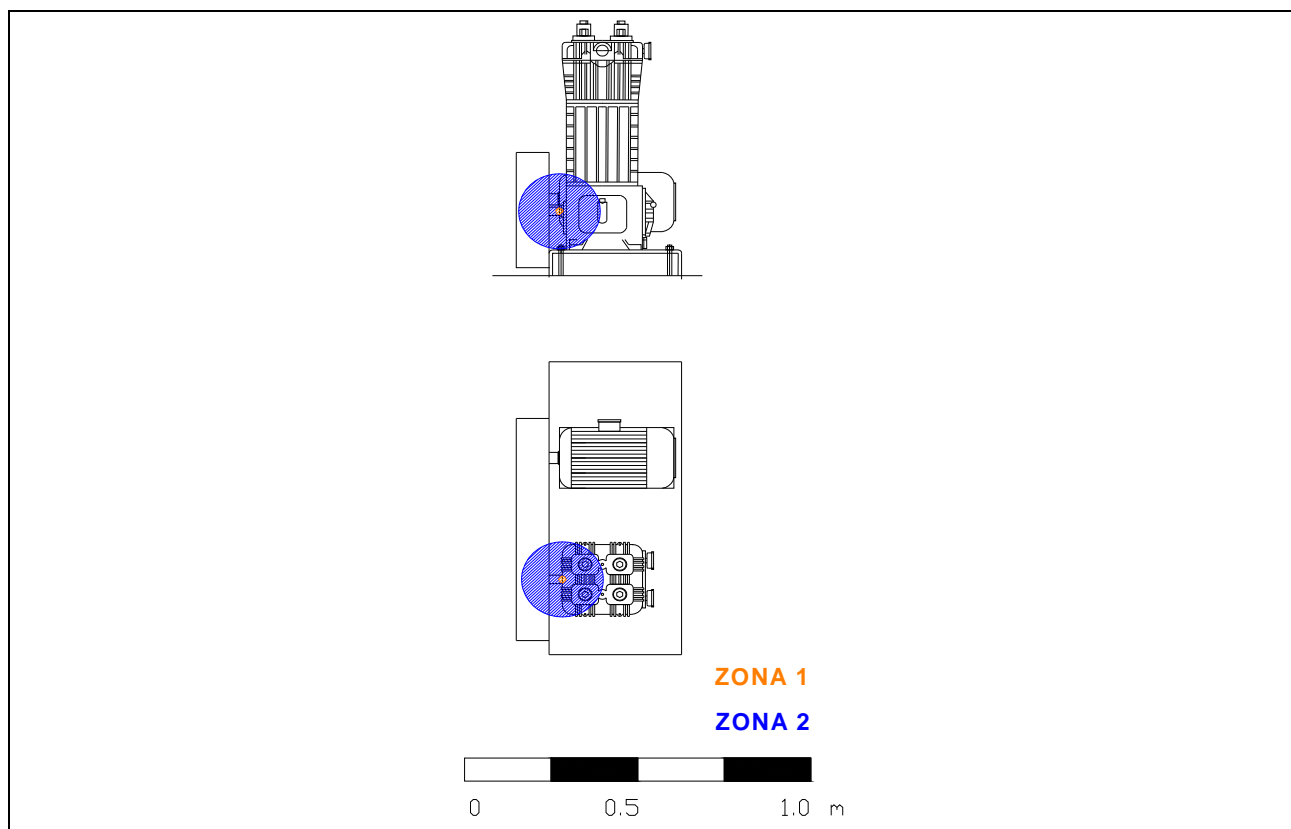


Figura 4.24. Zonagem para o Cenário 2.

Para os cenários 3, 4, 5 e 6, não resultam *Zonas* do tipo 1, dado que, a probabilidade de ocorrência de uma fuga neste tipo de equipamentos é menor do que nos equipamentos dos dois cenários anteriores, com as condições de funcionamento adoptadas no presente trabalho. Tendo em conta que todos os tipos de fugas originam uma classificação da zona como *Zona 2*, adoptam-se os valores que resultam em maiores extensões, por forma a reflectir um coeficiente de segurança superior.

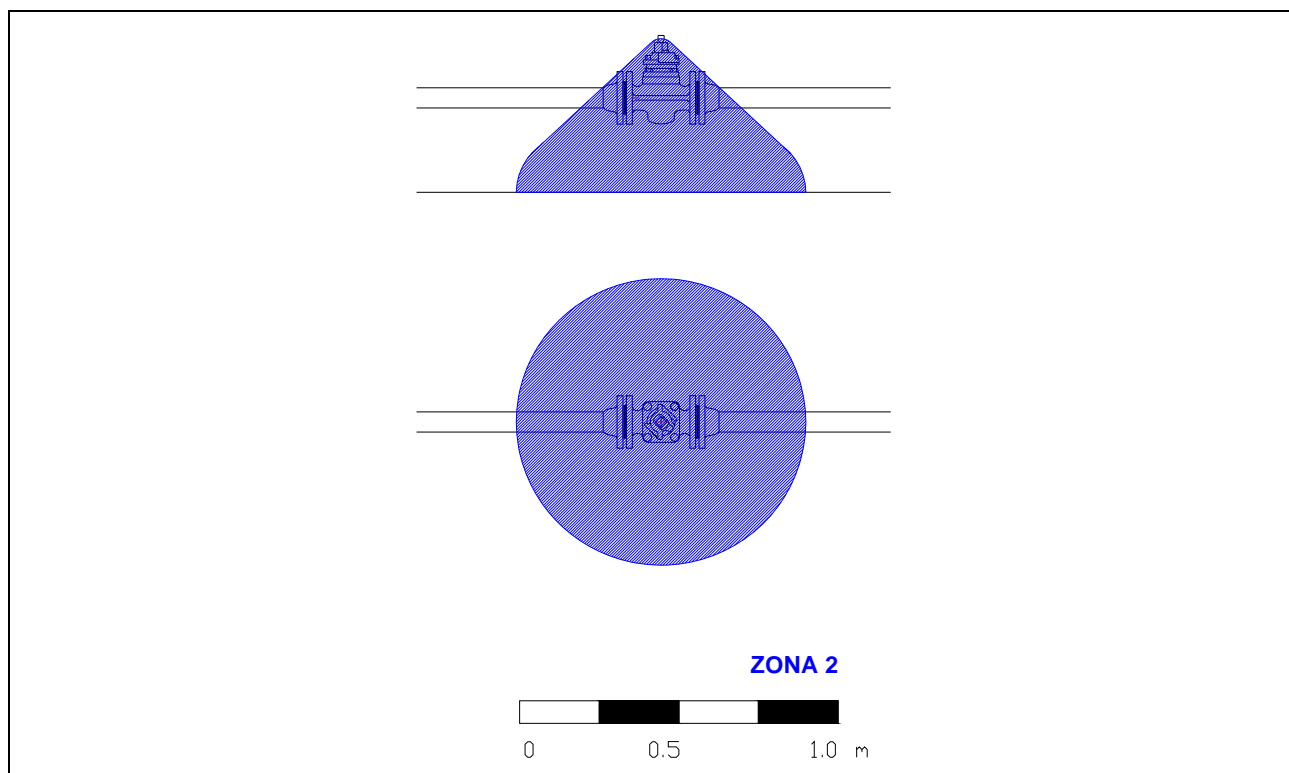


Figura 4.25. Zonagem para o Cenário 3.

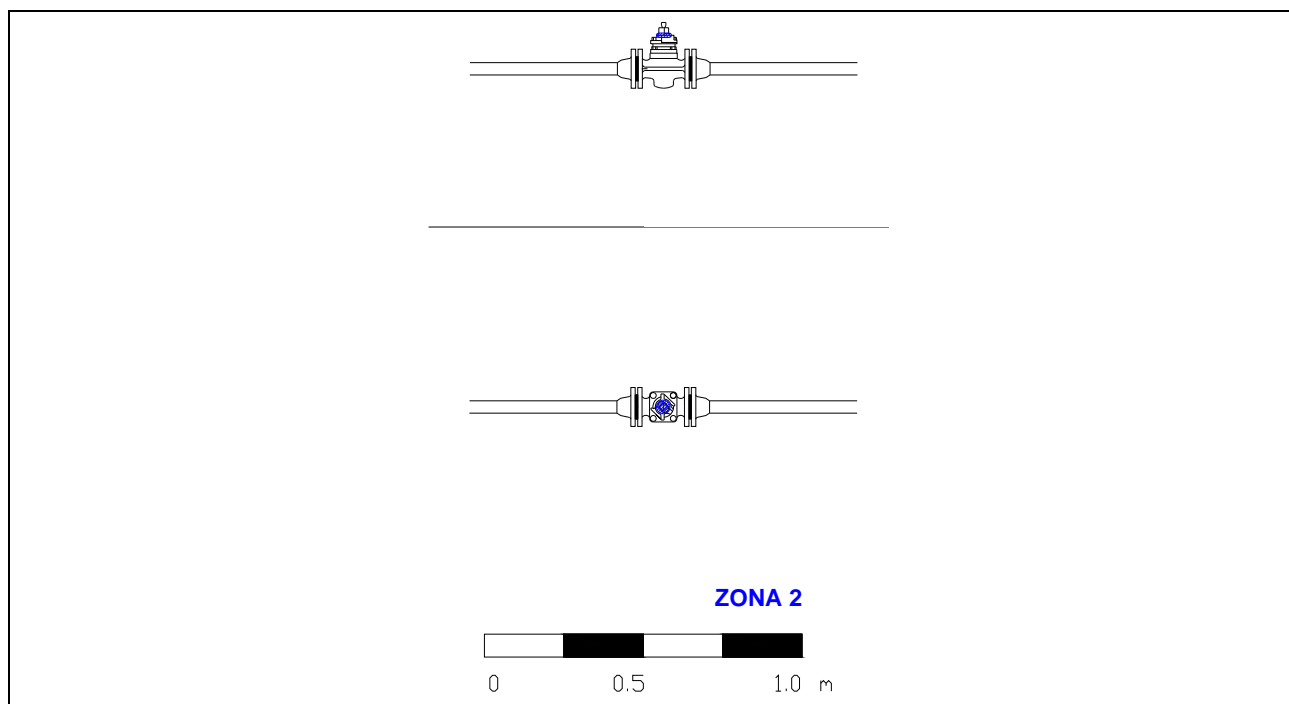


Figura 4.26. Zonagem para o Cenário 4.

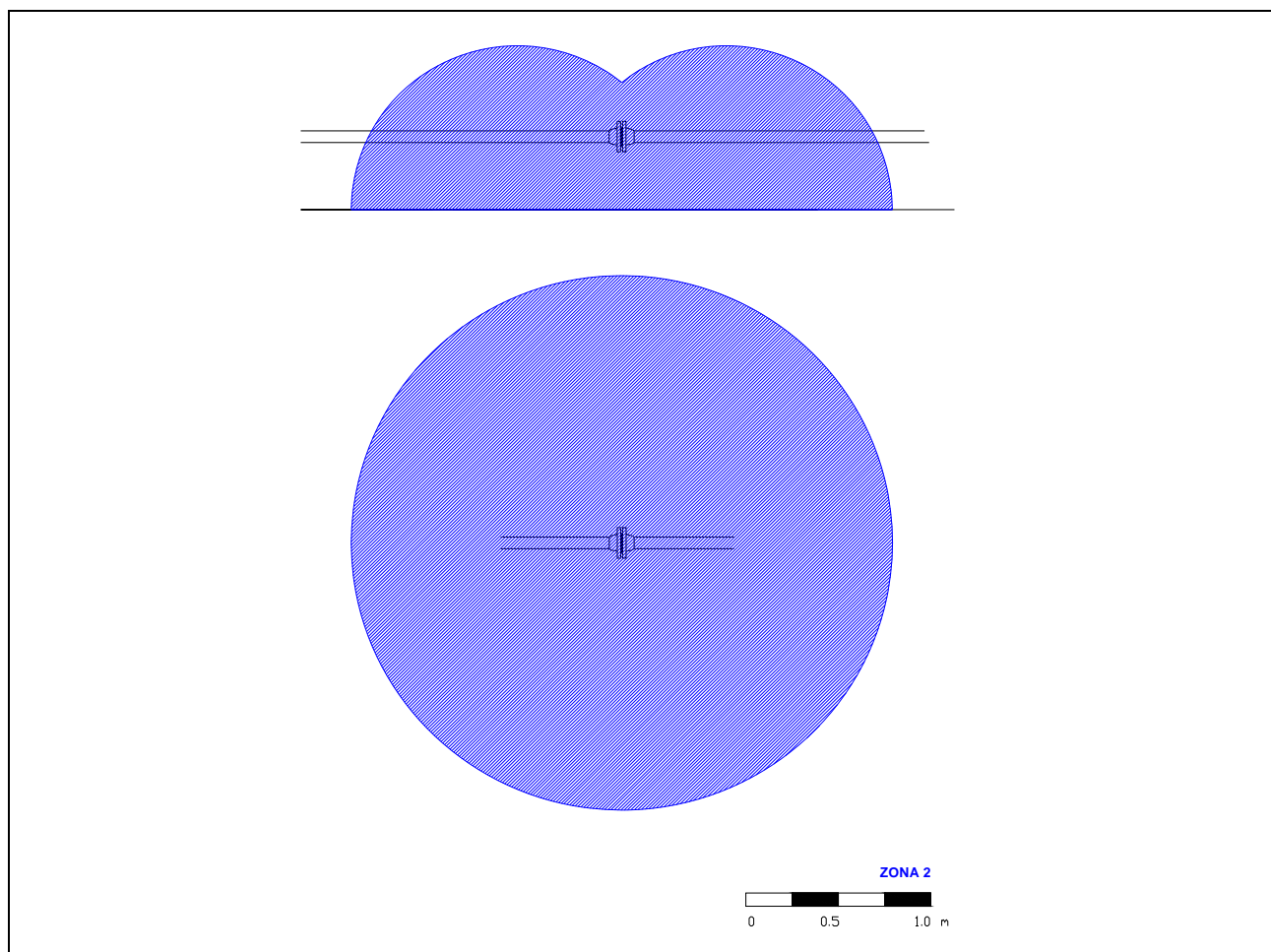


Figura 4.27. Zonagem para o Cenário 5.

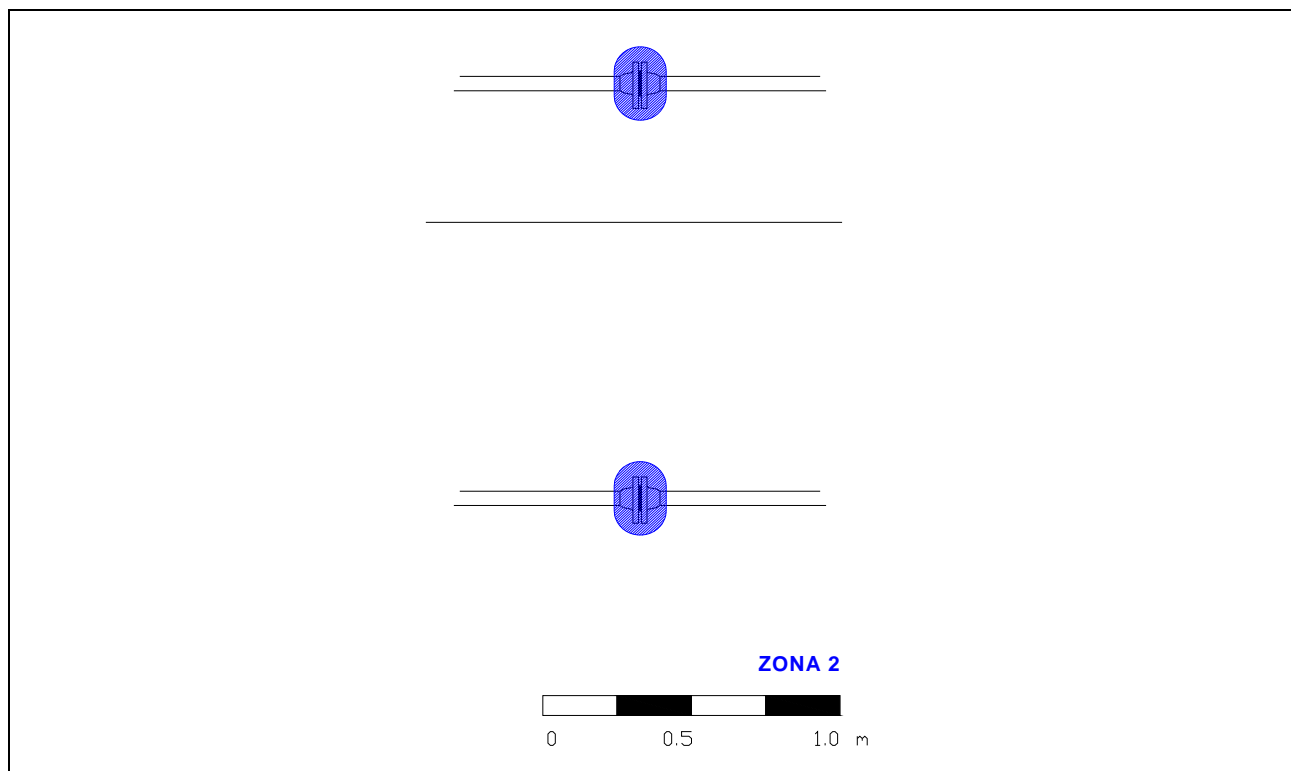


Figura 4.28. Zonagem para o Cenário 6.

Tendo por base estes resultados, voltamos a introduzir o contexto a que nos reportamos no início deste trabalho (Parque de armazenagem e enchimento de GPL da SAAGA), para que possamos perceber da sua aplicabilidade num cenário real. Para tal diferenciaremos alguns sectores de um Parque de GPL, quer em termos de localização, quer pelas diferentes actividades que aí se realizam e equipamentos instalados. A Figura 4.29. apresenta esta divisão para o Parque da SAAGA, em Ponta Delgada.



Figura 4.29. Parque de GPL da Nordela, SAAGA, S.A., onde se identificaram os vários locais, de acordo com a sua função (<http://sigweb.mpdelgada.pt/geoportail>).

A interacção entre as estruturas e equipamentos na divisão por sectores aqui apresentada, pode ser representada genericamente e de forma esquemática na Figura 4.30. tendo por base as operações associadas à movimentação de GPL.

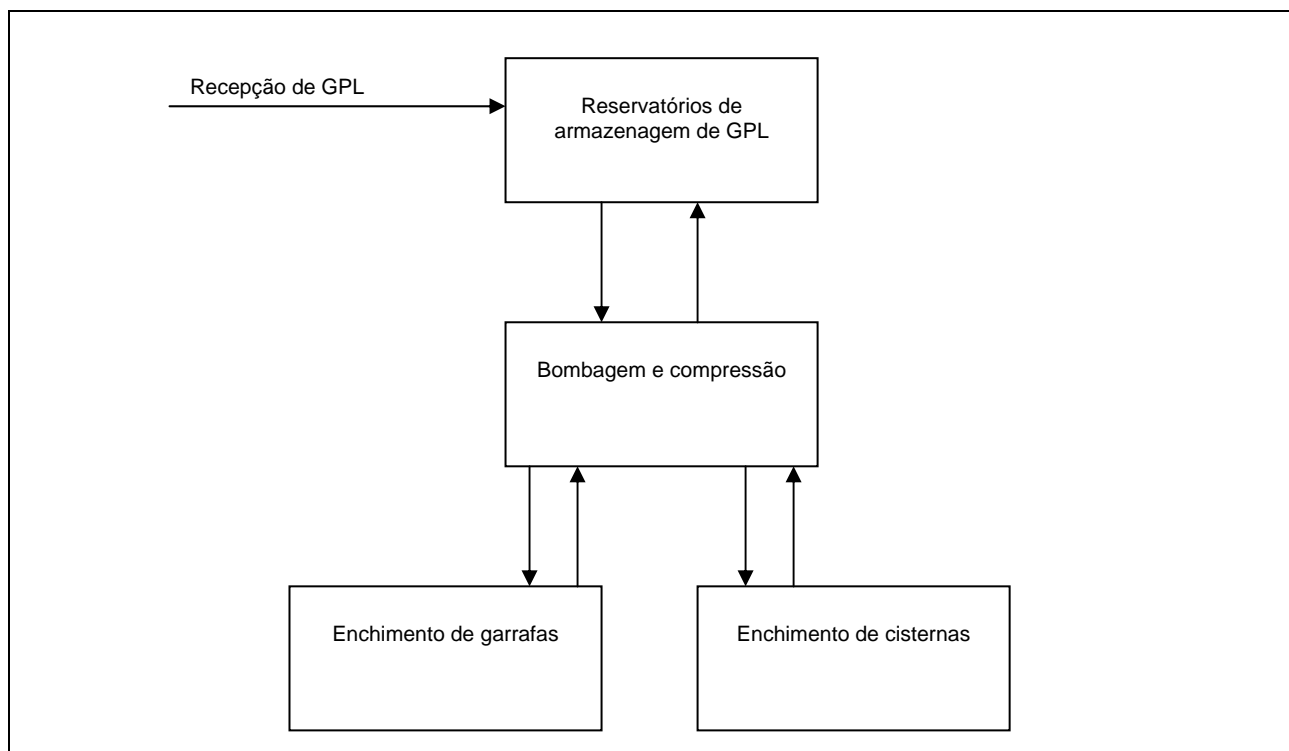


Figura 4.30. Representação esquemática dos locais de um Parque de GPL, de acordo com a sua função.

Em termos de equipamentos instalados, em cada um dos locais discriminados anteriormente existem vários equipamentos/elementos, que iremos agrupar pela sua designação mais comum. A Tabela 4.16. faz a ligação entre equipamentos e a respectiva localização num Parque de GPL.

Tabela 4.16. – Matriz de relação entre os equipamentos e o local de instalação num Parque de GPL.

<i>Local</i> <i>Equipamento</i>	<i>Armazenagem</i>	<i>Bombagem e compressão</i>	<i>Enchimento em garrafas</i>	<i>Enchimento de cisternas</i>
Reservatórios de armazenagem	<input checked="" type="checkbox"/>			
Tubagem	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Válvulas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Instrumentação	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Bombas		<input checked="" type="checkbox"/>		
Compressores		<input checked="" type="checkbox"/>		
Sistemas de enchimento e controlo de fornecimentos			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Seleccionamos, como exemplo, o local “bombagem e compressão” para o qual se tomará uma subsecção, onde se encontram instaladas as bombas de GPL.

A Figura 4.31. representa esquematicamente os equipamentos a que nos reportamos e a identificação/numeração adoptada para cada um, e que usamos nas simulações que apresentamos em seguida.

Este esquema foi dividido em quatro grupos:

- o *colector de admissão*, que recebe a linha de saída de fase líquida dos reservatórios e a encaminha para cada um dos grupos de bombagem;

- dois *grupos de bombas*, com as respectivas válvulas à admissão e à saída e a interligação por intermédio de uma válvula de alívio por mola, ao colector de retorno, por forma a encaminhar de novo, para os reservatórios de armazenagem, o caudal que não é consumido a jusante das bombas;

- o *colector de retorno*, que recebe o caudal “sobrante” de cada um dos grupos de bombagem e o encaminha para a tubagem de retorno de fase líquida dos reservatórios de armazenagem.

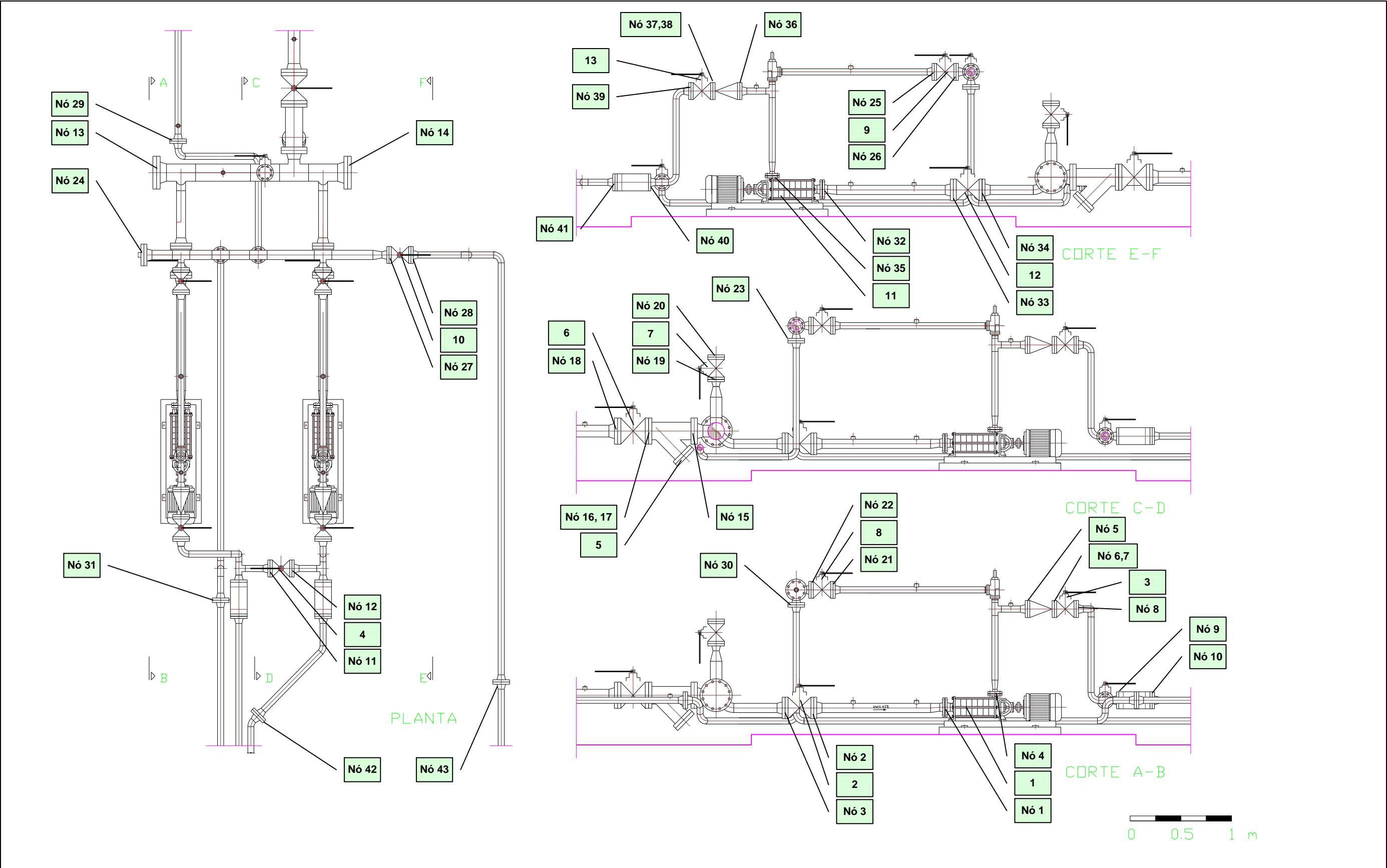


Figura 4.31. Representação esquemática da bombagem de GPL e identificação/numeração adoptada, de acordo com a Tabela 4.17.

4.2.2. Zonagem da bombagem de GPL – situação de operação normal

Procedendo de forma idêntica à descrita no ponto 4.1. deste trabalho, realizamos simulações para cada um dos equipamentos que listamos, tratado-os isoladamente. Dessas, resultaram os valores que se compilaram na Tabela 4.17. Assumiu-se para a realização das simulações, um cenário de operação normal dos equipamentos, que corresponderá à situação mais comum numa estrutura deste género.

Consideraram-se os seguintes pressupostos para a simulação no *software Zonas*:

- ☒ Ambos os grupos de bombagem encontram-se em funcionamento;
- ☒ A pressão de entrada, ou seja, na admissão das bombas, toma o valor de 3 bar;
- ☒ A pressão de saída de cada bomba é de 10 bar;
- ☒ O valor da pressão no colector de retorno de 8 bar;
- ☒ Temperatura ambiente 20°C;
- ☒ Classe de estabilidade D;
- ☒ Velocidade do vento no local 2 m/s;
- ☒ Produto movimentado: butano;
- ☒ Fase em que se encontra o produto: Líquida, em todos os troços.

Tal como nas simulações efectuadas no ponto 4.1. calcularam-se as dimensões dos pontos de fuga associados a cada equipamento, e as correspondentes secções transversais circulares equivalentes (*D fuga*), como ponto de partida para a caracterização da “dimensão” das fugas.

A Tabela 4.17. apresenta como entradas: a identificação do órgão, alvo do cálculo e simulação; as condições de funcionamento (pressão, fase em que se encontra o butano, cota e diâmetro equivalente do ponto de fuga). Como saídas das simulações no programa *Zonas* apresenta-se:

- Distância ao ponto de libertação, devido ao flash, $D1_{LIE}$, em [mm];
- Distância ao ponto de libertação, da projecção do jacto em spray, d , em [mm];

- Raio da calote esférica resultante da dispersão do jacto que se projectou para o solo, R_{LIE} , em [mm];
- A classificação da zona resultante.

Tabela 4.17. – Resultados das simulações para os elementos da bombagem de GPL – situação de operação normal.

Órgão			Condições de funcionamento			Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar] / Fase	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	$D1_{LIE}$ [mm]	d [mm]	R_{LIE} [mm]	Class. Zona
Bomba 1 – BB1										
1	Bomba GPL, BB1	SIHI CEH 6104	10 / L	262	1.386	Pequena	15	454	55	1
						Franca	163	454	728	2
Nó 1	Ligação à tubagem de admissão BB1	Ligação flangeada de 2 ½"	3 / L	262	2.020	Franca	177	454	797	2
2	Válvula V1	Válvula de corte Audco, 3"	3 / L	410	0.564	Franca	45	710	183	2
Nó 2	Ligação jusante V1	Ligação flangeada de 3"	3 / L	255	2.234	Franca	198	442	898	2
Nó 3	Ligação montante V1	Ligação flangeada de 3"	3 / L	255	2.234	Franca	198	442	898	2
Nó 4	Ligação à tubagem de saída BB1	Ligação flangeada de 1 ¼"	10 / L	394	2.106	Franca	260	682	1203	2
Nó 5	Ligação montante V4	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
Nó 6	Ligação jusante V4	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
3	Válvula V5	Válvula de corte Audco, 2"	10 / L	1340	0.564	Franca	61	2321	257	2
Nó 7	Ligação montante V5	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
Nó 8	Ligação jusante V5	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
Nó 9	Ligação montante V6	Ligação flangeada de 2"	10 / L	330	1.877	Franca	228	572	1047	2

	Órgão		Condições de funcionamento			Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	D _{1,UE} [mm]	d [mm]	R _{1,UE} [mm]	Class. Zona
Colector de admissão – C1										
Nó 10	Ligação jusante V6	Ligação flangeada de 2"	10 / L	330	1.877	Franca	228	572	1047	2
4	Válvula V7	Válvula de corte Audco, 2"	10 / L	466	0.564	Franca	61	807	257	2
Nó 11	Ligação #1 à V7	Ligação flangeada de 2"	10 / L	330	1.877	Franca	228	572	1047	2
Nó 12	Ligação #2 à V7	Ligação flangeada de 2"	10 / L	330	1.877	Franca	228	572	1047	2
Nó 13, 14	Flanges cegas colector de admissão C1	Ligação flangeada de 6"	3 / L	480	2.469	Franca	221	831	1031	2
5	Filtro F1 à entrada do colector C1	Ligação flangeada de 4"	3 / L	240	2.514	Franca	226	416	1036	2
Nó 15	Ligação jusante de F1	Ligação flangeada de 4"	3 / L	480	2.514	Franca	226	831	1036	2
Nó 16	Ligação montante de F1	Ligação flangeada de 4"	3 / L	480	2.514	Franca	226	831	1036	2
6	Válvula V2	Válvula de corte Audco, 4"	3 / L	650	0.564	Franca	45	1126	183	2
Nó 17	Ligação jusante V2	Ligação flangeada de 4"	3 / L	480	2.514	Franca	226	831	1036	2
Nó 18	Ligação montante V2	Ligação flangeada de 4"	3 / L	480	2.514	Franca	226	831	1036	2
7	Válvula V3	Válvula de corte Audco, 3"	3 / L	1087	0.564	Franca	45	1883	183	2
Nó 19	Ligação montante V3	Ligação flangeada de 3"	3 / L	980	2.234	Franca	198	1697	898	2
Nó 20	Flange cega em V3	Ligação flangeada de 3"	3 / L	1195	2.234	Franca	198	2070	898	2
Colector de retorno – C2										
8	Válvula V8	Válvula de corte Audco, 2"	8 / L	1526	0.564	Franca	58	2643	241	2
Nó 21	Ligação montante V8	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2
Nó 22	Ligação jusante V8	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2

Órgão		Condições de funcionamento				Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	D _{1,IE} [mm]	d [mm]	R _{1,IE} [mm]	Class. Zona
Nó 23	Ligação do colector C2 à linha de retorno	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1254	1.877	Franca	241	2172	979	2
Nó 24	Flange cega colector C2	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2
9	Válvula V9	Válvula de corte Audco, 2"	8 / L	1526	0.564	Franca	58	2643	241	2
Nó 25	Ligação montante V9	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2
Nó 26	Ligação jusante V9	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2
10	Válvula V10	Válvula de corte Audco, 2"	8 / L	1526	0.564	Franca	58	2643	241	2
Nó 27	Ligação montante V10	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2
Nó 28	Ligação jusante V10	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1400	1.877	Franca	241	2425	979	2
Nó 29	Ligação linha de retorno	Ligação flangeada de 2"	8 / L	430	1.877	Franca	241	745	979	2
Nó 30	Ligação ao colector C2	Ligação flangeada de 2"	8 / L	1254	1.877	Franca	241	2172	979	2
Nó 31	Junção na linha de ligação ao colector C2	Ligação flangeada de 2"	8 / L	330	1.877	Franca	241	572	979	2
Bomba 2 – BB2										
11	Bomba GPL, BB2	SIHI CEH 6104	10 / L	262	1.386	Pequena	15	454	55	1
						Franca	163	454	728	2
Nó 32	Ligação à tubagem de admissão BB2	Ligação flangeada de 2 ½"	3 / L	262	2.020	Franca	177	454	797	2
12	Válvula V11	Válvula de corte Audco, 3"	3 / L	410	0.564	Franca	45	710	183	2
Nó 33	Ligação jusante V11	Ligação flangeada de 3"	3 / L	255	2.234	Franca	198	442	898	2
Nó 34	Ligação montante V11	Ligação flangeada de 3"	3 / L	255	2.234	Franca	198	442	898	2
Nó 35	Ligação à tubagem de saída BB2	Ligação flangeada de 1 ¼"	10 / L	394	2.106	Franca	260	682	1203	2

		Órgão		Condições de funcionamento		Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	D _{LIE} [mm]	d [mm]	R _{LIE} [mm]	Class. Zona
Nó 36	Ligação montante V12	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
Nó 37	Ligação jusante V12	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
13	Válvula V13	Válvula de corte Audco, 2"	10 / L	1340	0.564	Franca	61	2321	257	2
Nó 38	Ligação montante V13	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
Nó 39	Ligação jusante V13	Ligação flangeada de 2"	10 / L	1214	1.877	Franca	228	2103	1047	2
Nó 40	Ligação montante V14	Ligação flangeada de 2"	10 / L	330	1.877	Franca	228	572	1047	2
Nó 41	Ligação jusante V14	Ligação flangeada de 2"	10 / L	330	1.877	Franca	228	572	1047	2
Nó 42	Ligação troços linha de saída BB2	Ligação flangeada de 2"	10 / L	430	1.877	Franca	228	745	1047	2
Nó 43	Ligação troços linha de retorno	Ligação flangeada de 2"	8 / L	230	1.877	Franca	214	398	977	2

Em seguida, representam-se algumas fases da composição da zonagem ATEX definida pelo contributo de cada elemento listado na Tabela 4.17. A zonagem resultante pode ser considerada conservadora, já que se assume como critério para o respectivo desenho, a possibilidade de todos os elementos envolvidos, apresentarem em simultâneo uma fuga. Assim sendo, efectuar-se-á uma reunião das zonas resultantes de cada elemento, para que resulte a zonagem pretendida.

Figura 4.32. – Zona associada à bomba de GPL, BB1 (elemento 1) e ligação à tubagem de admissão (Nó 1);

Figuras 4.33. – Zonagem obtida considerando os elementos da Figura 4.32., a válvula de corte de 3" instalada no troço de admissão à bomba 1 e respectivas ligações (elemento 2, Nó 2 e Nó 3);

Figuras 4.34. – Representação de uma das etapas intermédias da zonagem, onde se distingue a contribuição do colector de admissão;

Figuras 4.35. – Fase da construção da zonagem obtida considerando o contributo dos dois grupos de bombas;

Figura 4.36. – Configuração final da zona ATEX, obtida com a contribuição de todos os elementos representados, onde se distinguem os dois tipos de zonas obtidos: *Zona 1* e *Zona 2*.

Em todas as figuras as áreas classificadas como *Zona 2* foram representadas a traço de cor azul, enquanto que as classificadas como *Zona 1*, apresentam uma cor laranja. Como se esperava, a envolvente resultante é classificada como *Zona 2*, havendo apenas um pequeno volume que obteve a classificação de *Zona 1*, dada a probabilidade, como aliás vimos no cenário 1 no ponto 4.1 do presente trabalho.

Poderemos ainda acompanhar o “crescimento” da zonagem à medida que se considera a influência de um novo elemento do circuito, ao mesmo tempo que podemos comparar com os resultados apresentados no ponto 4.2.1. deste trabalho. Tal procedimento proporcionará que tiremos conclusões acerca das semelhanças em termos geométricos, já que cada elemento, como vimos, apresenta um desenho característico, consequência do tipo de fuga e do fenómeno que lhe está na origem, como foi inicialmente introduzido na capítulo 3.3.3.

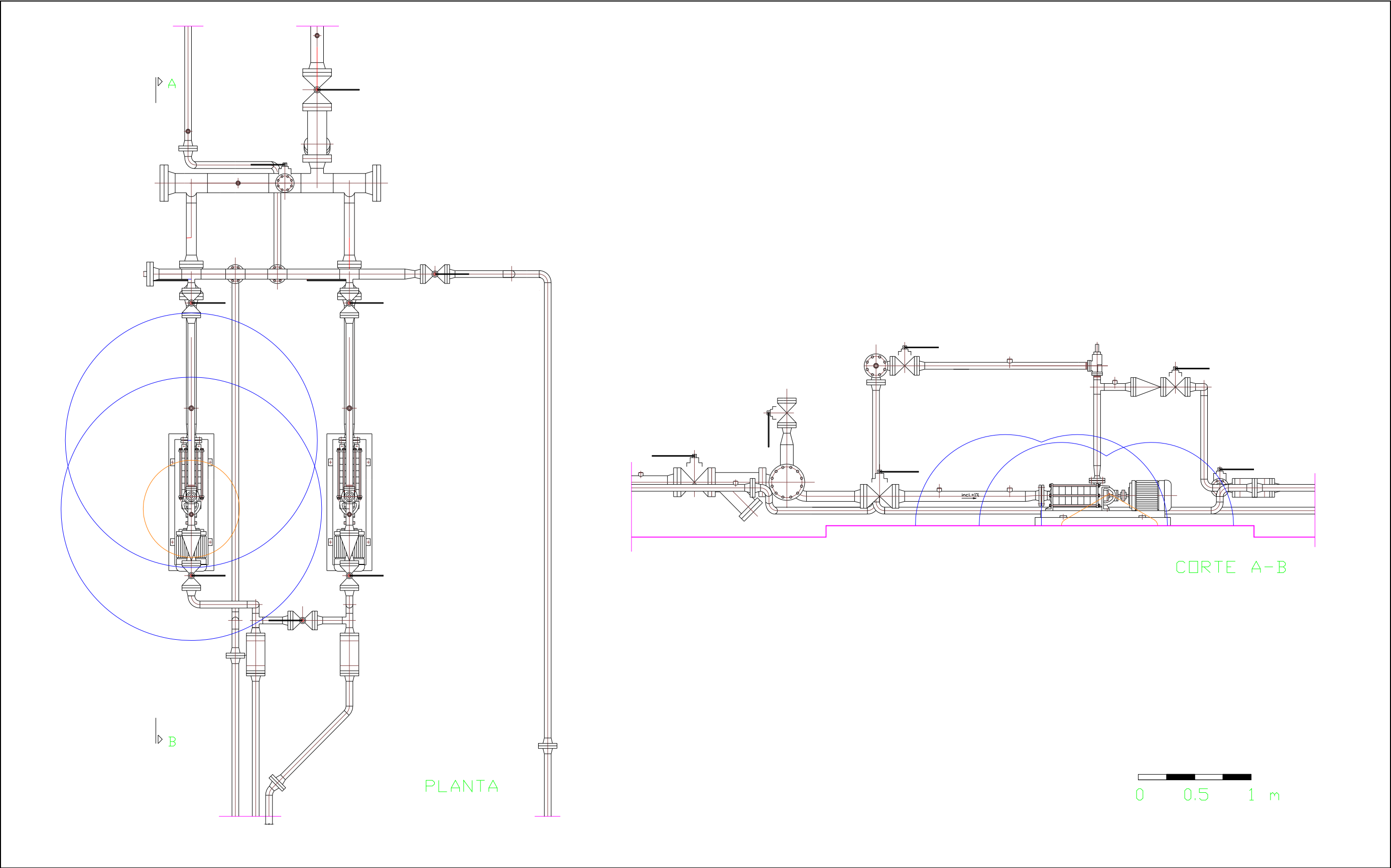


Figura 4.32. Zonagem obtida considerando a influência da bomba de GPL 1 e pela ligação flangeada de admissão – Operação normal.

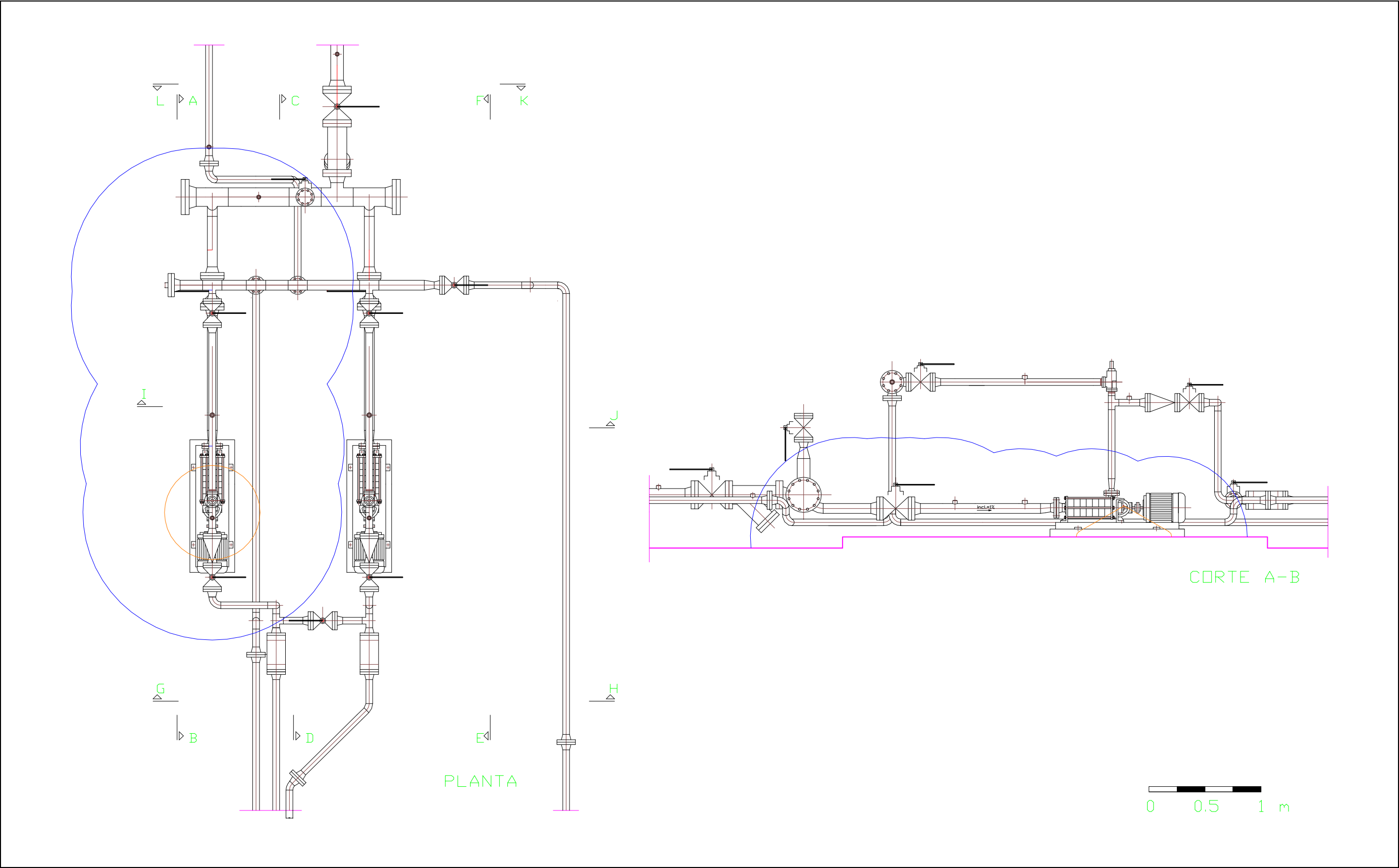


Figura 4.33. Zonagem obtida considerando os elementos da Figura 4.32., a válvula de corte de 3" instalada no trecho de admissão à bomba 1e respectivas ligações – Operação normal.

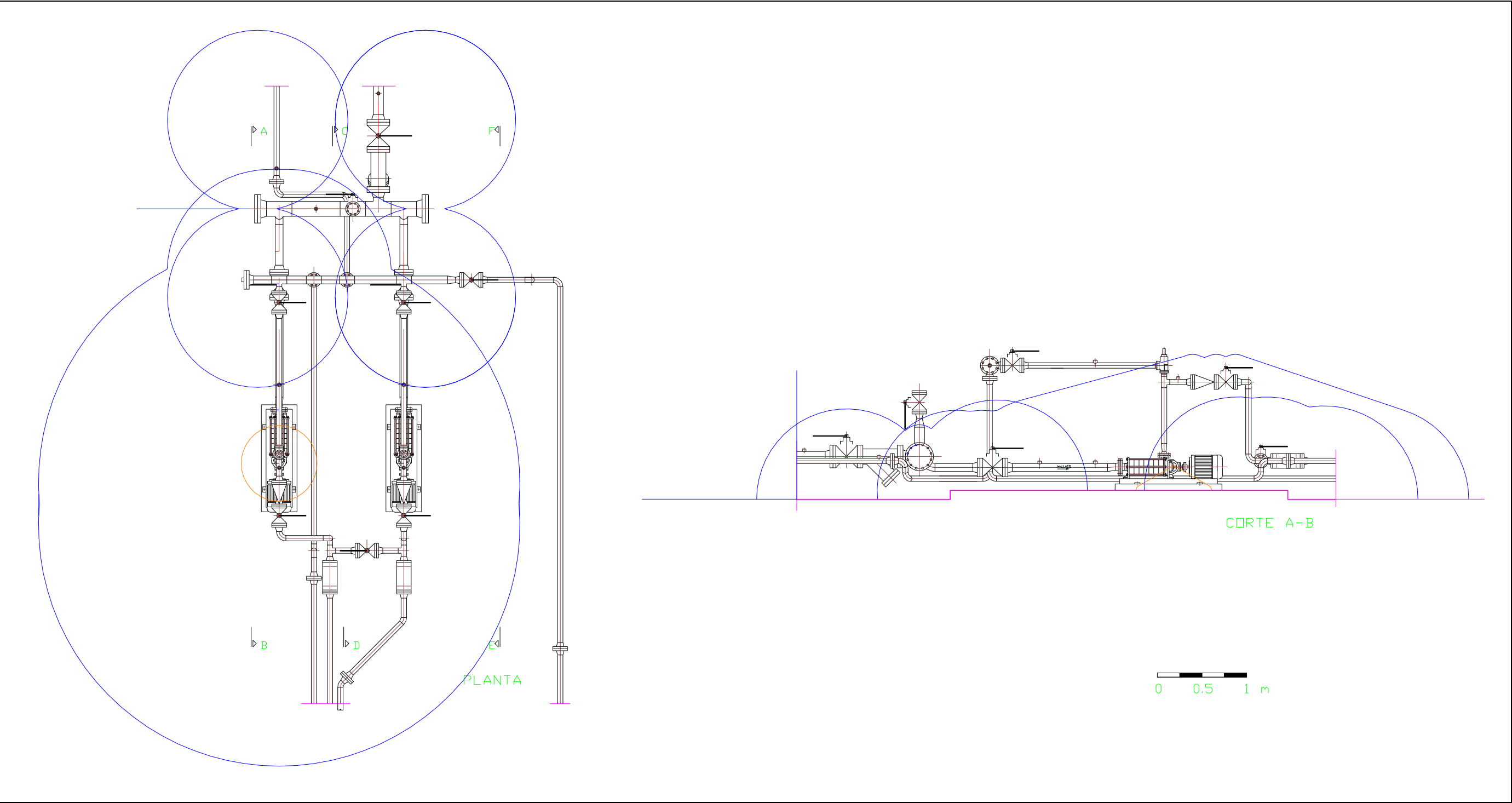


Figura 4.34. Representação de uma das etapas intermédias da zonagem, onde se distingue a contribuição do colector de admissão – Operação normal.

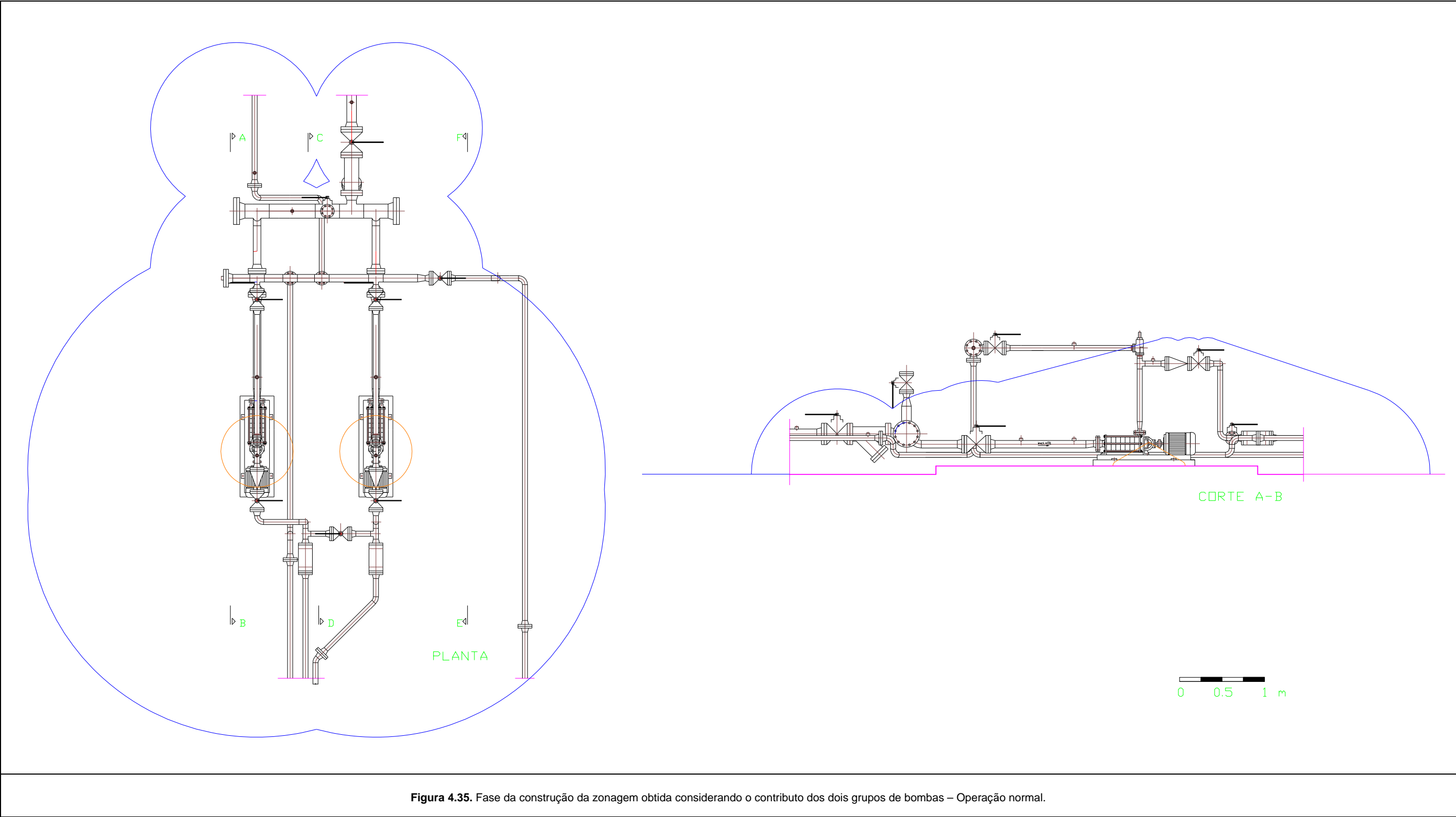
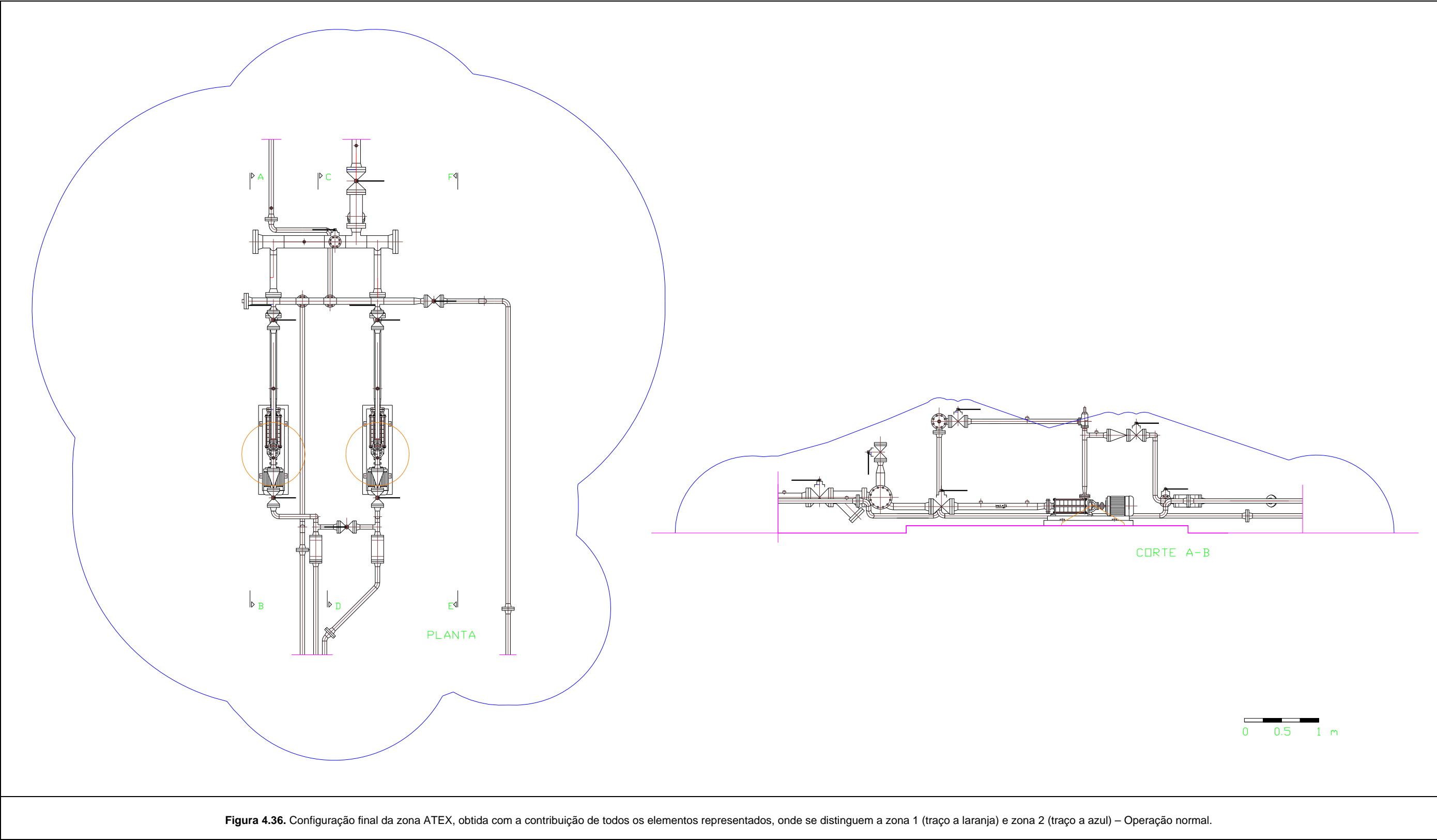


Figura 4.35. Fase da construção da zonagem obtida considerando o contributo dos dois grupos de bombas – Operação normal.



4.2.3. Zonagem da bombagem de GPL – situação de manutenção preventiva ao filtro

Consideremos agora um cenário diferente, ou seja, uma situação em que se procede a uma manutenção preventiva: abertura do filtro F1 (elemento 5), localizado à entrada do colector de admissão das bombas, para proceder à limpeza e verificação do estado físico do elemento filtrante. Esta manutenção é realizada com uma periodicidade de 6 meses, tendo em conta a dimensão e quantidade de produto movimentado.

Esta acção de manutenção preventiva é precedida de alguns procedimentos, para efectuar a desgaseificação do troço a intervir, uma vez que implica a abertura de uma tubagem de GPL. A acção de desgaseificação far-se-á recorrendo ao compressor, que expulsará o butano em fase líquida (*limpeza de linha*, na gíria) e fará baixar a pressão, nesse troço isolado, até cerca de 100 mbar. Em simultâneo, e dependendo do volume que se pretende desgaseificar, introduzir-se-á água ou azoto, de forma a substituir integralmente o espaço anteriormente ocupado por GPL.

A partir desta etapa procede-se ao alívio dos pernos que fixam a flange cega do filtro, até que se consiga desmontá-la e extrair o elemento interno do filtro, para inspecção e limpeza.

Este cenário de manutenção, que implica a abertura de um troço de tubagem que continha GPL, configura uma zonagem ATEX distinta da anterior, já que, a probabilidade de ocorrência de uma atmosfera potencialmente explosiva é agora significativamente maior. Iremos considerar para este cenário, que a situação mais crítica ocorre aquando da abertura da referida flange, para a qual se estimou um diâmetro equivalente de 2". Refazendo os cálculos associados às simulações no *software Zonas*, obtiveram-se os resultados que se apresentam na Tabela 4.18. para os quais foram considerados os seguintes pressupostos:

- ☑ Ambos os grupos de bombagem estão fora de funcionamento e com as válvulas de corte na posição fechada;
- ☑ A pressão no colector de admissão das bombas toma o valor de 0.1 bar;
- ☑ A pressão nos restantes troços do circuito é 3 bar;
- ☑ Temperatura ambiente 20°C;

- ☑ Classe de estabilidade D;
- ☑ Velocidade do vento no local 2 m/s;
- ☑ Produto movimentado: butano;
- ☑ Fase em que se encontra o produto: Gasosa no colector de admissão, Líquida nos restantes troços.

Entradas da Tabela 4.18.: identificação do órgão, alvo do cálculo e simulação; condições de funcionamento (pressão, fase em que se encontra o butano, cota e diâmetro equivalente do ponto de fuga).

Saídas da Tabela 4.18. (resultados das simulações no programa *Zonas*), para os pontos em que a libertação se dá em *fase Líquida*:

- Distância ao ponto de libertação, devido ao flash, $D1_{LIE}$, em [mm];
- Distância ao ponto de libertação, da projecção do jacto em spray, d , em [mm];
- Raio da calote esférica resultante da dispersão do jacto que se projectou para o solo, R_{LIE} , em [mm];
- A classificação da zona resultante.

Saídas da Tabela 4.18. para os pontos em que a libertação se dá em *fase Gasosa*:

- Distância ao ponto de libertação da nuvem explosiva que se liberta $D1_{LIE}$, em [mm];
- A classificação da zona resultante.

Tabela 4.18. – Resultados das simulações para os elementos da bombagem de GPL – situação de manutenção ao filtro F1.

Órgão			Condições de funcionamento			Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	$D1_{LIE}$ [mm]	d [mm]	R_{LIE} [mm]	Class. Zona
Bomba 1 – BB1										
1	Bomba GPL, BB1	SIHI CEH 6104	3 / L	262	1.386	Pequena	11	454	40	1
						Franca	117	454	511	2

Órgão			Condições de funcionamento			Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	D _{1,IE} [mm]	d [mm]	R _{1,IE} [mm]	Class. Zona
Nó 1	Ligação à tubagem de admissão BB1	Ligação flangeada de 2 ½"	3 / L	262	2.020	Franca	177	454	797	2
2	Válvula V1	Válvula de corte Audco, 3"	3 / L	410	0.564	Franca	42	710	183	2
Nó 2	Ligação jusante V1	Ligação flangeada de 3"	3 / L	255	2.234	Franca	198	442	898	2
Nó 3	Ligação montante V1	Ligação flangeada de 3"	0.1 / G	255	2.234	Franca	18	--	--	2
Nó 4	Ligação à tubagem de saída BB1	Ligação flangeada de 1 ¼"	3 / L	394	2.106	Franca	185	682	837	2
Nó 5	Ligação montante V4	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
Nó 6	Ligação jusante V4	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
3	Válvula V5	Válvula de corte Audco, 2"	3 / L	1340	0.564	Franca	45	2321	184	2
Nó 7	Ligação montante V5	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
Nó 8	Ligação jusante V5	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
Nó 9	Ligação montante V6	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
Nó 10	Ligação jusante V6	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
4	Válvula V7	Válvula de corte Audco, 2"	3 / L	466	0.564	Franca	45	807	183	2
Nó 11	Ligação #1 à V7	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
Nó 12	Ligação #2 à V7	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
Colector de admissão – C1										
Nó 13, 14	Flanges cegas de colector de admissão C1	Ligação flangeada de 6"	0.1 / G	480	2.469	Franca	19	--	--	2
5	Filtro F1 à entrada do colector C1	Ligação flangeada de 4"	0.1 / G	240	51.2	Franca	519	--	--	0
Nó 15	Ligação jusante de F1	Ligação flangeada de 4"	0.1 / G	480	2.514	Franca	20	--	--	2

Órgão		Condições de funcionamento				Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	D _{1,IE} [mm]	d [mm]	R _{1,IE} [mm]	Class. Zona
Nó 16	Ligação montante de F1	Ligação flangeada de 4"	0.1 / G	480	2.514	Franca	20	--	--	2
6	Válvula V2	Válvula de corte Audco, 4"	3 / L	650	0.564	Franca	45	1126	183	2
Nó 17	Ligação jusante V2	Ligação flangeada de 4"	0.1 / G	480	2.514	Franca	20	--	--	2
Nó 18	Ligação montante V2	Ligação flangeada de 4"	3 / L	480	2.514	Franca	226	831	1036	2
7	Válvula V3	Válvula de corte Audco, 3"	0.1 / G	1087	0.564	Franca	5	--	--	2
Nó 19	Ligação montante V3	Ligação flangeada de 3"	0.1 / G	980	2.234	Franca	18	--	--	2
Nó 20	Flange cega em V3	Ligação flangeada de 3"	0.1 / G	1195	2.234	Franca	18	--	--	2
Colector de retorno – C2										
8	Válvula V8	Válvula de corte Audco, 2"	3 / L	1526	0.564	Franca	45	2643	183	2
Nó 21	Ligação montante V8	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2
Nó 22	Ligação jusante V8	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2
Nó 23	Ligação do colector C2 à linha de retorno	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1254	1.877	Franca	163	2172	730	2
Nó 24	Flange cega colector C2	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2
9	Válvula V9	Válvula de corte Audco, 2"	3 / L	1526	0.564	Franca	45	2643	183	2
Nó 25	Ligação montante V9	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2
Nó 26	Ligação jusante V9	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2
10	Válvula V10	Válvula de corte Audco, 2"	3 / L	1526	0.564	Franca	45	2643	183	2
Nó 27	Ligação montante V10	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2
Nó 28	Ligação jusante V10	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1400	1.877	Franca	163	2425	730	2

Órgão			Condições de funcionamento			Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	D _{1,IE} [mm]	d [mm]	R _{1,IE} [mm]	Class. Zona
Nó 29	Ligação linha de retorno	Ligação flangeada de 2"	3 / L	430	1.877	Franca	163	745	730	2
Nó 30	Ligação ao colector C2	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1254	1.877	Franca	163	2172	730	2
Nó 31	Junção na linha de ligação ao colector C2	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
Bomba 2 – BB2										
11	Bomba GPL, BB2	SIHI CEH 6104	3 / L	262	1.386	Pequena	11	454	40	1
						Franca	117	454	511	2
Nó 32	Ligação à tubagem de admissão BB2	Ligação flangeada de 2 ½"	3 / L	262	2.020	Franca	177	454	797	2
12	Válvula V11	Válvula de corte Audco, 3"	3 / L	410	0.564	Franca	42	710	183	2
Nó 33	Ligação jusante V11	Ligação flangeada de 3"	3 / L	255	2.234	Franca	198	442	898	2
Nó 34	Ligação montante V11	Ligação flangeada de 3"	0.1 / G	255	2.234	Franca	18	--	--	2
Nó 35	Ligação à tubagem de saída BB2	Ligação flangeada de 1 ¼"	3 / L	394	2.106	Franca	185	682	837	2
Nó 36	Ligação montante V12	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
Nó 37	Ligação jusante V12	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
13	Válvula V13	Válvula de corte Audco, 2"	3 / L	1340	0.564	Franca	45	2321	184	2
Nó 38	Ligação montante V13	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
Nó 39	Ligação jusante V13	Ligação flangeada de 2"	3 / L	1214	1.877	Franca	163	2103	730	2
Nó 40	Ligação montante V14	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
Nó 41	Ligação jusante V14	Ligação flangeada de 2"	3 / L	330	1.877	Franca	163	572	730	2
Nó 42	Ligação troços linha de saída BB2	Ligação flangeada de 2"	3 / L	430	1.877	Franca	163	745	730	2

Órgão			Condições de funcionamento			Zonagem ATEX				
Elementos	Equipamento	Características	Pressão [bar]	Cota [mm]	D fuga [mm]	Tipo	$D_{1,IE}$ [mm]	d [mm]	$R_{1,IE}$ [mm]	Class. Zona
Nó 43	Ligação troços linha de retorno	Ligação flangeada de 2"	3 / L	230	1.877	Franca	164	745	730	2

Com base nestes valores, procedemos ao desenho do volume envolvente à área em causa, considerando a contribuição de cada elemento em particular. As figuras seguintes, farão a tradução gráfica dos valores que resultaram dos cálculos.

Figura 4.37. – Zona associada à bomba de GPL, e válvula de corte de 3" instalada na tubagem de admissão (elementos 1 e 2) e respectivas ligações (Nós 1, 2 e 3).

Figuras 4.38. – Zonagem obtida pelo contributo dos dois grupos de bombas, elemento alvo da intervenção (filtro de GPL) e respectivas ligações;

Figura 4.39. – Zonagem final, resultante dos contributos de todos os elementos existentes no local considerado. Nesta figura encontram-se representados, com traços de cor diferente, as três zonas obtidas: *Zona 0* a verde, *Zona 1* a laranja e *Zona 2* a azul.

Em termos gerais, a extensão da área potencialmente explosiva é menor que a resultante do cenário de operação normal (ponto 4.2.2. deste trabalho), dado os valores da pressão presentes serem também menores, bem como o troço que compreende o elemento alvo da acção de manutenção se encontrar agora com butano na sua fase gasosa. O resultado final, quer em termos de extensão, quer em termos de configuração é semelhante ao obtido no caso anterior (operação normal). Isto permite-nos reforçar mais uma vez, a questão do comportamento típico de cada elemento, que lhe confere quase uma *assinatura* própria.

A diferença significativa e mais importante, resulta do aparecimento de um volume classificado como *Zona 0*, já que a existência de uma atmosfera potencialmente explosiva deixa de estar sujeita ao estudo probabilístico, mas é um dado assumido.

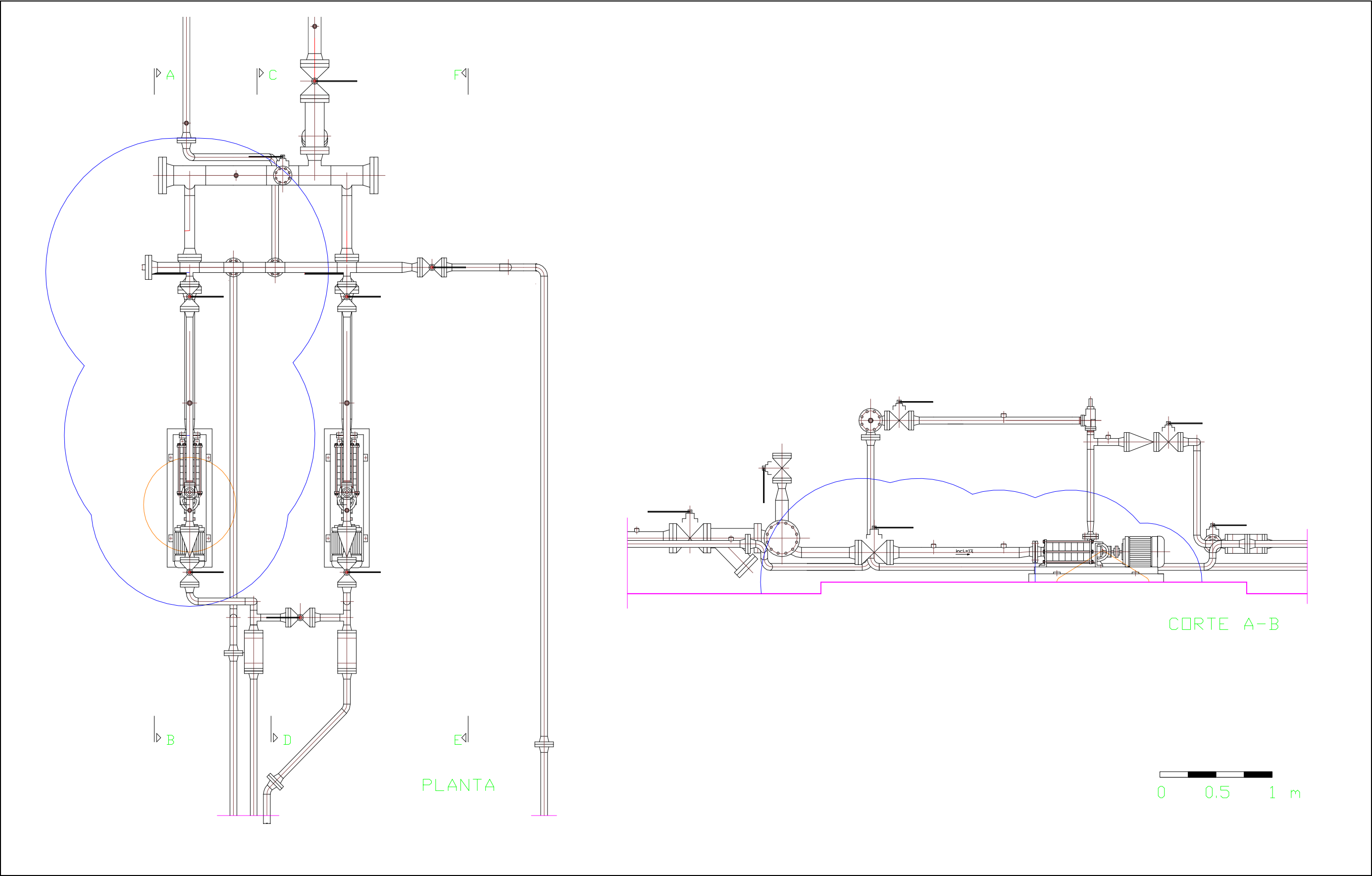
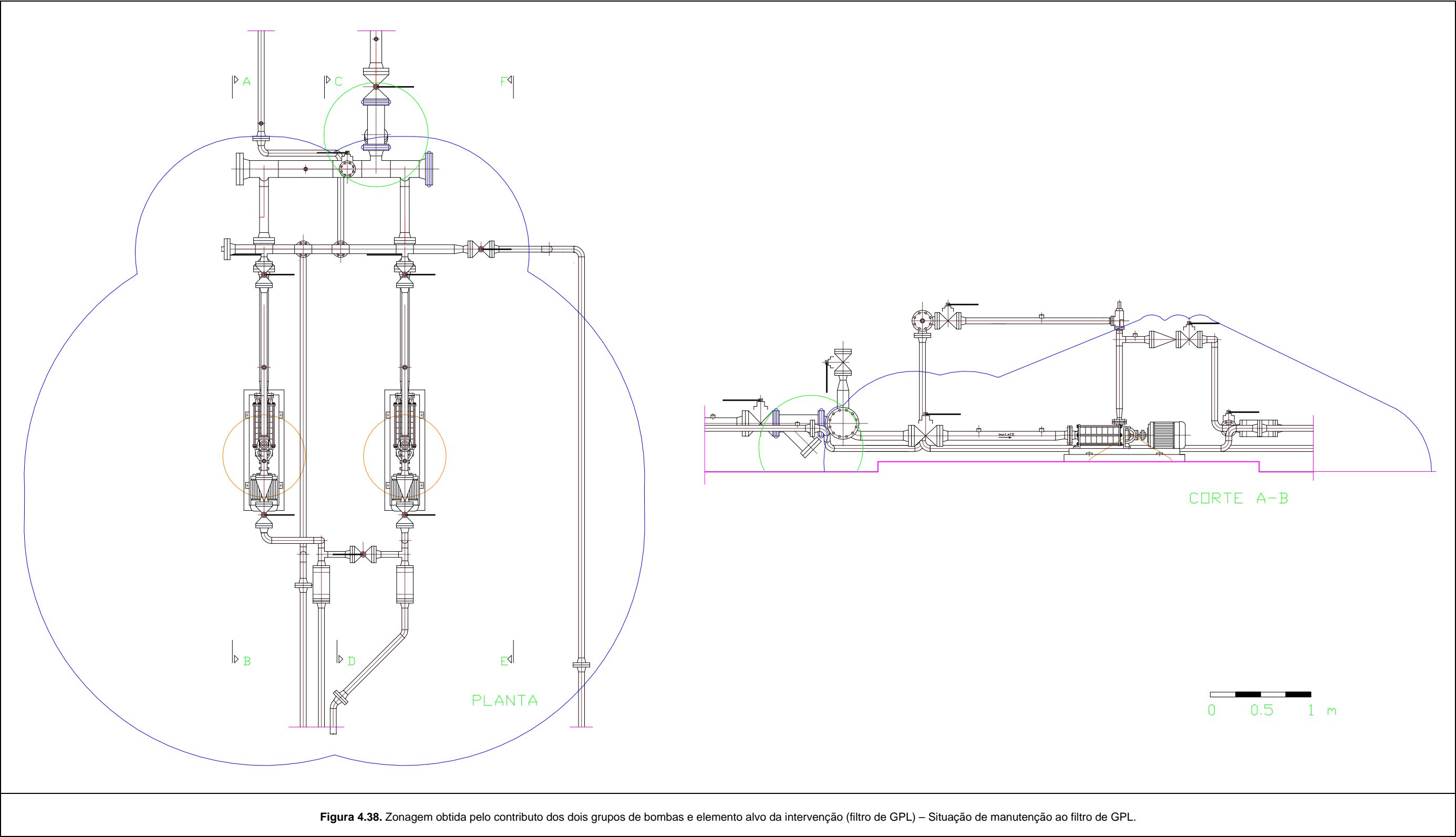
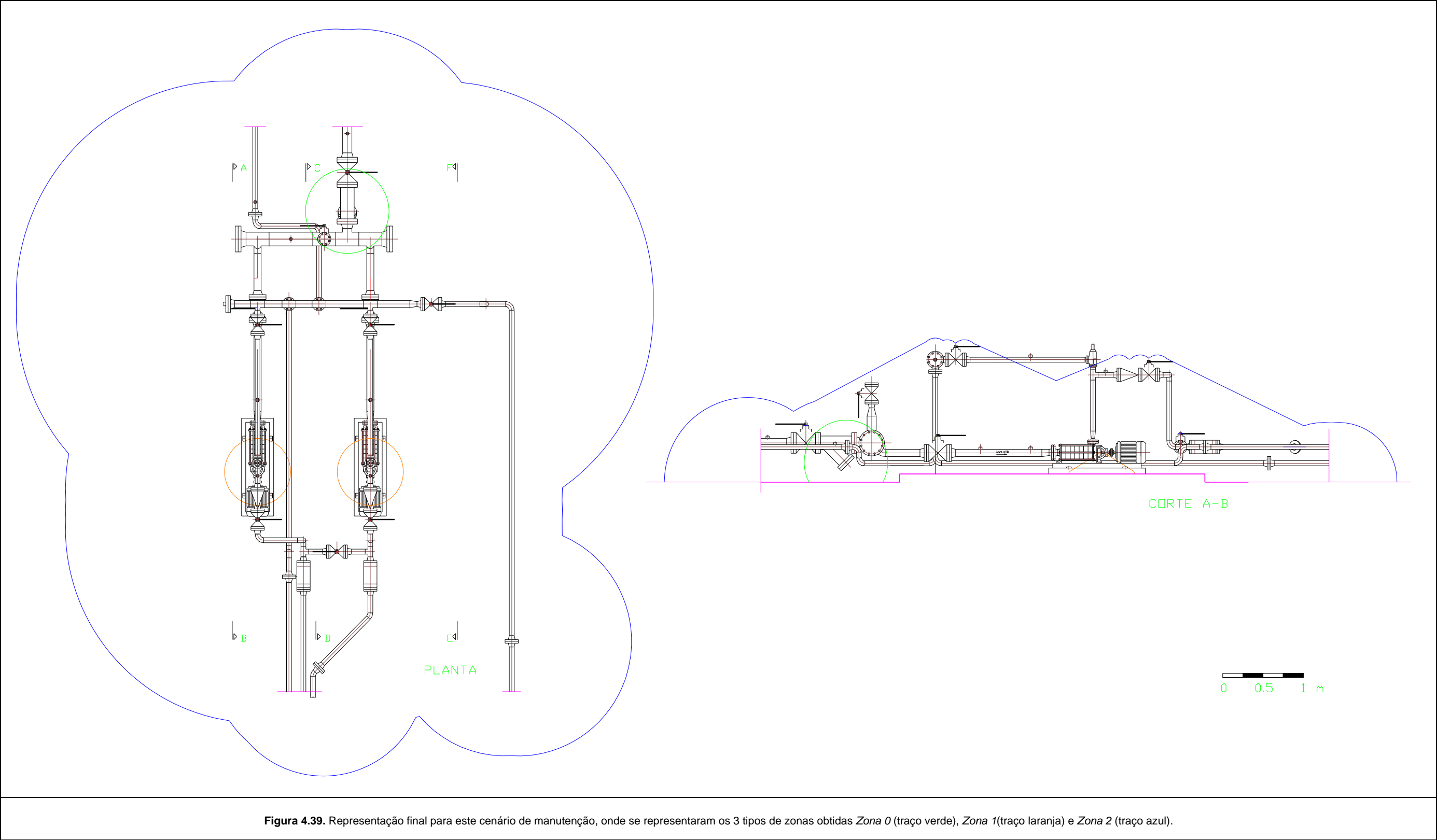


Figura 4.37. Zonagem obtida pelas contribuições da bomba 1 de GPL, válvula de corte de 3" instalada na tubagem de admissão e respectivas ligações – Situação de manutenção ao filtro de GPL.

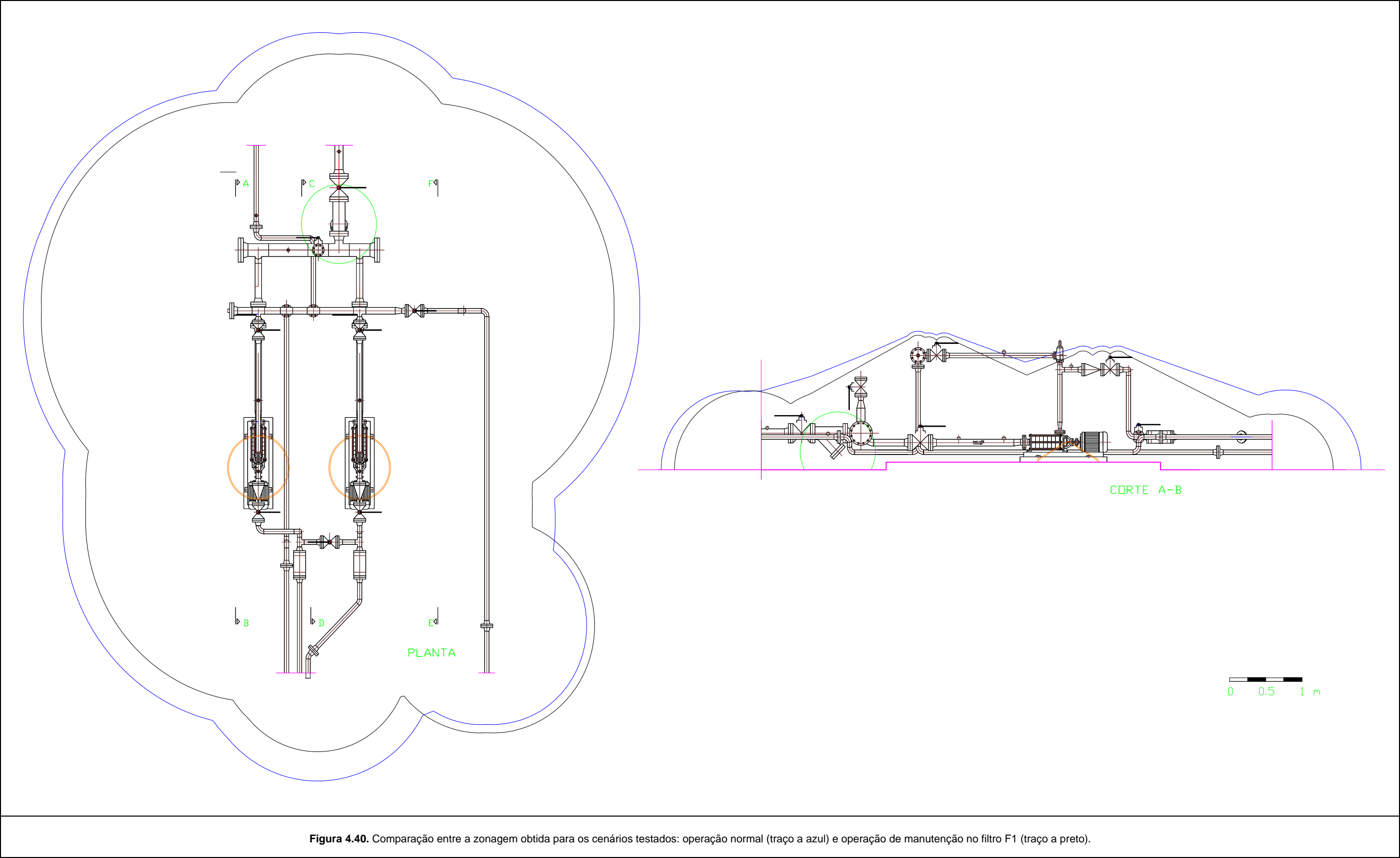


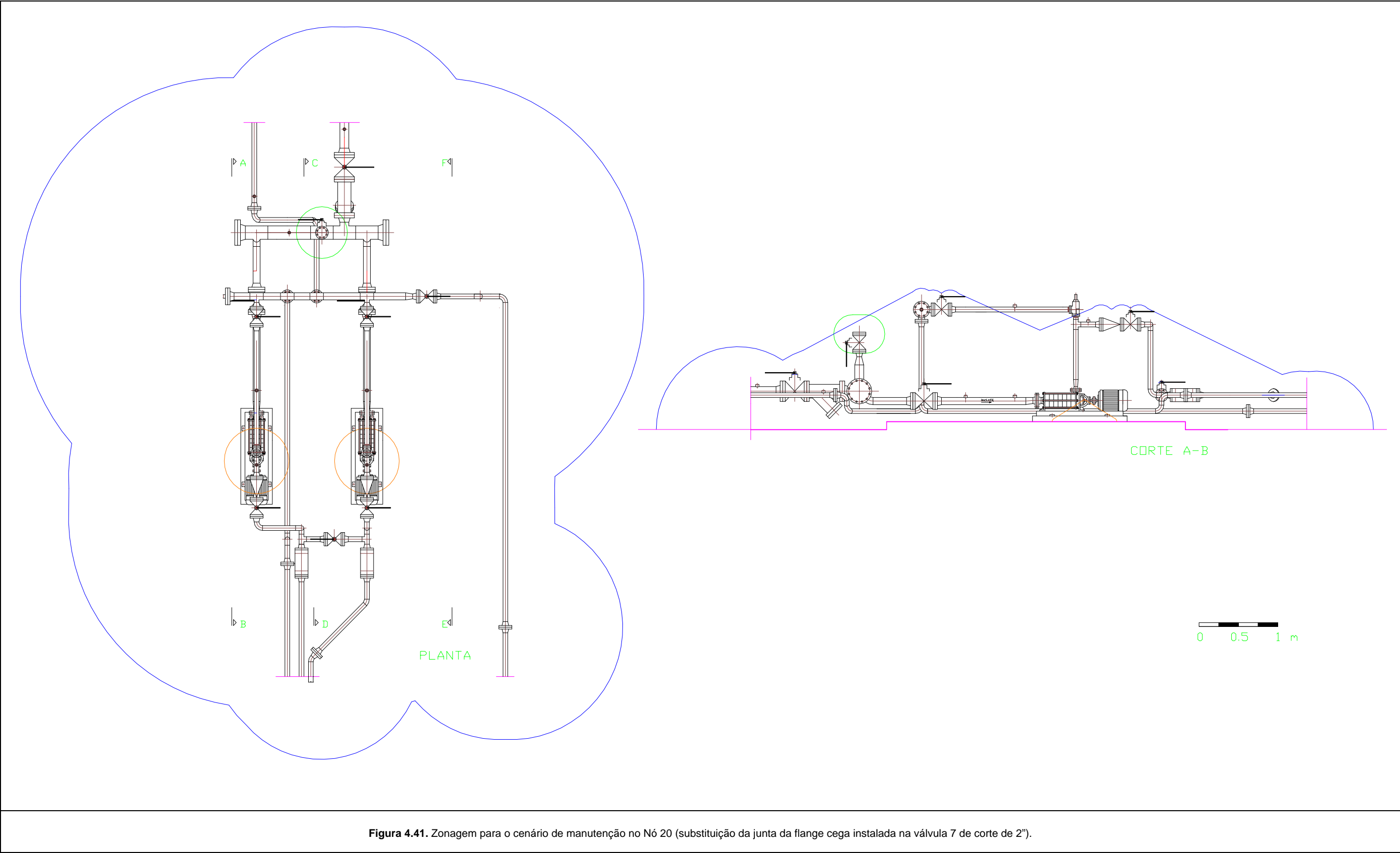


Se quisermos perceber em termos gráficos as diferenças entre os dois tipos de zonas, obtidas num e noutro cenário que acabamos de caracterizar, poderemos sobrepor as linhas limite dos dois volumes. A Figura 4.40. mostra esta sobreposição, permitindo evidenciar a semelhança quanto à forma geométrica, e para as condições consideradas para os dois cenários, a quase coincidência em termos de extensão do volume da atmosfera potencialmente explosiva.

Como já referimos, a diferença significativa surge ao nível da existência de uma zona em que se assume haver uma libertação, no cenário que inclui a acção de manutenção, e que por esse motivo é classificada como *Zona 0* (assinalado na Figura 4.40. a traço de cor verde), com as implicações que isto trará em termos de equipamentos instalados e procedimentos operativos.

O que se pretende também evidenciar, com esta sobreposição dos resultados dos dois cenários, é a necessidade de refazer pontualmente a zonagem ATEX, conferindo-lhe algum dinamismo, já que o resultado obtido para o filtro, alvo da acção de manutenção que consideramos, vai ser reproduzido noutro elemento qualquer, aquando de algumas situações de manutenção, principalmente de cariz correctivo. Para ilustrar o que se disse, verifiquemos o que acontece num caso semelhante, mas em que se pretendia substituir a junta na flange cega da válvula 7 (Nó 20 da Figura 4.31.), cujos resultados numéricos optamos por não apresentar, remetendo apenas a análise para a zonagem resultante, que se apresenta na Figura 4.41.





5. CONCLUSÕES

Como objectivos do presente trabalho, propusemo-nos, partindo da caracterização e do comportamento singular de cada órgão/equipamento, compilar os elementos necessários à compreensão de uma libertação de GPL, e elaborar uma metodologia que permitisse, para as estruturas de armazenagem e movimentação de GPL:

- Proceder à classificação das várias zonas ATEX;
- Contribuir para uma melhoria da gestão de alterações e/ou instalação de novos equipamentos/estruturas, tendo em conta a abordagem ATEX;
- Fornecer pistas conducentes à melhoria do desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL, que permitam optar, desde a fase de projecto, por traçados mais vantajosos, sob o ponto de vista das atmosferas explosivas.

A análise efectuada no decurso do presente trabalho, permitiu desenvolver uma metodologia de abordagem à classificação das zonas ATEX, bem como o cálculo da respectiva extensão (com recurso a ferramentas informáticas de simulação), e possibilitou, para o caso concreto de uma estrutura de armazenagem e movimentação de GPL, olhar para os resultados numa perspectiva crítica, cimentada na observação do dia-a-dia, ao mesmo tempo que se tomava consciência da razão e dimensão das medidas implementadas/a implementar neste tipo de indústria. Consideramos que o desenvolvimento de uma rotina informática, que permitiu testar cenário a cenário a influência de cada parâmetro e o peso relativo para o resultado final, é uma mais-valia deste trabalho que poderá ser aplicada a cenários semelhantes.

Em seguida destacamos alguns tópicos que, pela sua relevância e influência no desenho de estruturas de armazenagem e movimentação de GPL, sob o ponto de vista ATEX, merecem destaque e reflexão.

1. Zonagem

A classificação das zonas é, por definição (IEC 60079-10, 2002), dependente da frequência com que se registam/observam a formação de atmosferas potencialmente explosivas, qualquer que seja a sua

extensão. Por sua vez, a frequência, relaciona-se com o regime de funcionamento do(s) equipamento(s) ou órgão(s) instalado(s) nesse local, dado que é em função das operações e actividades que aí se desenvolvem, que poderão ocorrer libertações de produto para a atmosfera.

Nessa mesma perspectiva, dever-se-á adequar a classificação da zonagem ATEX, definida para determinado local, sempre que se verifiquem alterações significativas nas respectivas condições de funcionamento. Como exemplo, diferenciamos duas situações que, face à sua natureza, consolidam o referido: operação normal e manutenção. Esta adequação deverá ser decorrente de uma análise de riscos para as actividades em questão, onde se ponderará a nova probabilidade de ocorrência de uma atmosfera potencialmente explosiva.

Assim, parece-nos adequado que, face à situação em causa, exista uma classificação de zonas diferenciada, discriminando os vários estados de funcionamento da instalação:

- operação normal;
- situações de manutenção;
- momentos de arranque e paragem de instalações.

A análise realizada nos pontos 4.2.2. e 4.2.3. do presente trabalho permitiu verificar, para o mesmo local e/ou parte da instalação, as diferenças entre uma situação de operação normal e uma situação de manutenção, ilustrando a necessidade de classificações diferentes, já que as probabilidades de formação de uma atmosfera potencialmente explosiva são diferentes, donde se conclui que esta classificação deverá ser *dinâmica*, ajustando-se à situação actual da instalação. O caso particular da manutenção poderá ainda ser classificado por nível de manutenção, uma vez que uma operação de inspecção de funcionamento apresentará uma probabilidade de libertação de produto diferente de uma operação de substituição de um órgão.

2. Limites

Por muito intuitivo que possa parecer, uma *Zona 0* não tem necessariamente que estar circunscrita por uma *Zona 1* e esta, por sua vez, por uma *Zona 2*: esta situação só ocorrerá quando, para um dado equipamento, estiverem associadas diferentes probabilidades de ocorrência de fugas e as extensões diferirem, ou seja, um equipamento apresentar para diferentes tipos de fugas probabilidades diferentes e

extensões distintas, já que, se as extensões foram coincidentes, a classificação a adoptar será a mais restrita (que deriva de uma probabilidade de fuga maior). Como exemplo, foram evidenciados dois equipamentos, bomba e compressor de GPL (cenários 1 e 2, ponto 4.1.), para os quais existem probabilidades diferentes de ocorrência de fuga, o que obriga à consideração de ambas as probabilidades, uma vez que diferem em termos de extensão. A classificação de uma zona, como consequência da probabilidade de existência de uma fuga, resultará da análise do contributo de cada equipamento.

A extensão das zonas está dependente da quantidade de produto/substância libertada, da velocidade da ventilação e dos parâmetros que caracterizam a estabilidade atmosférica, o que torna evidente a necessidade de se conhecer, de forma tão rigorosa quanto possível, os valores que referimos, sob o risco de se sub/sobre dimensionar a zonagem.

Na abordagem que seguimos no presente trabalho, não se considerou relevante a influência da quantidade de produto susceptível de ser libertado, dado que se adoptou como pressuposto a situação de escoamento constante no tempo.

3. Influência em cenários de acidente

Outra questão que importou distinguir, foi a relação entre as atmosferas potencialmente explosivas e a efectiva ocorrência de acidentes nessas zonas. Existem algumas compilações de registos de acidentes em instalações de armazenagem e movimentação de GPL (Cox *et al*, 2003), sendo possível investigar a probabilidade de ocorrência de um acidente, causado por uma atmosfera explosiva. Este trabalho não considerou esta análise, dado que se enquadra numa perspectiva distinta. Sob o ponto de vista ATEX pretende-se determinar ou delimitar os espaços, como forma de prevenir o surgimento de pontos de ignição (quer adoptando práticas de trabalho mais seguras, quer garantindo a utilização de equipamentos com a classificação adequada, necessária e suficiente para o funcionamento nessas zonas) e, por outro lado, conhecer a sua origem, para influenciar a frequência com que estas situações ocorrem (designadamente através de melhorias nos sistemas de manutenção dos equipamentos).

Deveremos ter ainda em atenção que a perspectiva ATEX permite a classificação e respectiva definição de distâncias de zonas onde podem estar presentes atmosferas potencialmente explosivas, por forma a prevenir a ignição de “fugas características” a partir das fontes quantificadas, mas essas distâncias não serão suficientes para assegurar o mesmo quando as fugas atingem dimensões associadas a acidentes (fugas catastróficas).

4. Nível de protecção dos equipamentos

Um dos resultados da abordagem ATEX é a definição dos requisitos a impor aos equipamentos instalados num determinado espaço, adequando-o com um grau de protecção suficiente dada a maior ou menor probabilidade de ocorrência de uma atmosfera potencialmente explosiva.

Os graus de protecção dos equipamentos são definidos de acordo com a sua capacidade de poder constituir uma fonte de ignição, quer durante o seu funcionamento normal, quer numa situação de avaria/funcionamento deficiente, que se pode traduzir no desenvolvimento de uma temperatura da superfície exposta, que se torne suficiente para a ignição da mistura explosiva de determinada substância, ou no aparecimento de um arco eléctrico.

Os requisitos de classificação dos equipamentos (quer sejam de funcionamento eléctrico, quer mecânico) deverão ser transpostos de forma idêntica para o grau de protecção das ferramentas e equipamentos de trabalho, e a outro nível, mas com impacto idêntico, aos equipamentos de protecção individual e/ou colectiva, dado que se expostos às mesmas condições devem apresentar as mesmas garantias.

Outra questão indissociável prende-se com a adopção de práticas de trabalho seguras, assentes numa formação de base sólida, por forma a conferir a competência necessária ao cumprimento rigoroso do “modo de proceder” numa zona ATEX, uma vez que todos os pressupostos e consequentes resultados obtidos não admitem comportamentos inseguros por parte de operadores e pessoal presente no local, dado que tal situação não é quantificável.

No decurso do presente trabalho, na empresa a que nos reportamos como amostra, não se registou nenhum acidente, quer no âmbito das atmosferas potencialmente explosivas, quer de outra natureza, incluindo o conceito de acidente de trabalho, nos termos da legislação aplicável.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, M. M. & H. C. VAN NEES. 1992. *Termodinâmica*. McGraw-Hill de Portugal. 477 pp.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). 1997. *API 500 - Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division1 and Division2*. American Petroleum Institute. 113 pp.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). 1998. *API 343 - Fugitive Emissions From Equipment Leaks II: Calculation Procedures for Petroleum Industry Facilities*. American Petroleum Institute. Sacramento. 108 pp.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). 1998. *API 432 - Fugitive Emissions From Equipment Leaks I: Monitoring Manual*. American Petroleum Institute. Sacramento. 76 pp.

ASSOCIAÇÃO EUROPEIA DE GASES DE PETRÓLEO LIQUEFEITO (AEGPL). 2003. *LPG Safety in Europe – Key Facts & Figures*. AEGPL The European LGP Association. France. 18 pp.

ASSOCIAÇÃO EUROPEIA DE GASES DE PETRÓLEO LIQUEFEITO (AEGPL). 2006. *A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy. The LPG Industry's Contribution to the EU Green Paper on Energy*. France.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE EMPRESAS PETROLÍFERAS (APETRO), *O Sector Petrolífero em Portugal – Informação histórica*. Disponível em: <http://www.apetro.pt>. Último acesso: 03 de Julho de 2007.

ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE. 1990. *Aide-mémoire de l'industrie du gaz*. (4^a édition). Association Technique de L'industrie du Gaz en France. Paris. 884 pp.

BARBER, D. & B. H. KENDRICK. 1985. A background to LPG – Developments in LPG cylinder valve and regulator systems. Paper presented at the United Nations, Economic Commission for Europe. SHELL International Petroleum Company Limited. Madrid. 27pp.

CÂMARA MUNICIPAL DE PONTA DELGADA. <http://sigweb.mpdelgada.pt/geoportat>. Último acesso em 2007-08-10.

CARRIER, G. F., F. E. FENDELL & S. F. FINK IV. 1998. Air dilution, under calm, of spreading dense vapour from an instantaneous spill of volatile liquid. *Combustion and Flame* 114: 178-191.

COL-LEGI D'ENGINYERS TÈCNICS INDUSTRIALS DE BARCELONA (CETIB). 2004. Manual Pràctico – Clasificación de zonas en atmósferas explosivas. Col-Legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona. Barcelona. 122 pp.

CORKEN. 1999. *Important Instructions. Liquid Transfer-Vapor Recovery Compressors*. CORKEN. Oklahoma. 39 pp.

COX, A. W., F. P. LEES & M. L. ANG. 2003. *Classification of hazardous locations*. (Ed. 7). Institution of Chemical Engineers. U.K. 201 pp.

CUNHA, L. 1994. *Desenho Técnico*. (9ª edição). Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 866 pp.

DANDRIEUX, A., J. P. DIMBOUR & G. DUSSEIRE. 2005. A simple model for calculating chlorine concentrations behind a water spray in case of small releases. *Journal of Loss Prevention in Process Industries* 18: 245-253.

DANDRIEUX, A., J. P. DIMBOUR & G. DUSSEIRE. 2006. Are dispersion models suitable for simulating small gaseous chlorine releases? *Journal of Loss Prevention in Process Industries* 19: 683-689.

Decreto-Lei n.º 112/96, de 5 de Agosto de 1996. Estabelece as regras de segurança e de saúde relativas aos aparelhos e sistemas de protecção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Decreto-Lei n.º 236/2003, de 30 de Setembro de 2006. Transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 1999/92/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa às prescrições

mínimas destinadas a promover a melhoria da protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores susceptíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas.

Directiva 94/9/CE, de 23 de Março de 1994. Relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros sobre aparelhos e sistemas de protecção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Directiva 1999/92/CE, de 16 de Dezembro de 1999. Relativa às prescrições mínimas destinadas a promover a melhoria da protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores susceptíveis de serem expostos a riscos derivados de atmosferas explosivas.

GALP ENERGIA & MUSEU DA PESSOA. 2005. *Relatório. Projecto Museu Virtual Vidas Galp*.

GIECK, K. R. 1996. *Manual de Fórmulas Técnicas*. (4ª edição). Trad. Carlos António Lauand. Dinalivro. Hemus. Lisboa.

GIERER, C. & N. HYATT. 1999. Using source term analysis software for calculating fluid flow release rates. CACHE News 21: 8-16.

GOMES, J. Use of dispersion models for assessment of accidental gas releases. Disponível em: www.meteo.bg/EURASAP/46/paper1.html. Último acesso: 13 de Junho de 2006.

HANNA, S. R. & J. C. CHANG. 2001. Use of the Kit Fox field to analyse dense gas dispersion modelling issues. Atmospheric Environment 35: 2231-2242.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. 1987. *The storage of LPG at fixed installations*. Health And Safety Executive. United Kingdom. 37 pp.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. 2001. *Modelling of dense gas dispersion in tunnels*. Health And Safety Executive. United Kingdom. 60 pp.

HÉRENSTEIN, LEON. 1976. *Manuel pour le stockage du propane et du butane*. (Ed. 8). Société du Journal des Usines à Gaz. Paris. 223 pp.

LILEY, J. B. 1994. Analytic Solution of One-Dimensional Equation for Aerosol and Gas Dispersion in the Stratosphere. National Institute of Water and Atmospheric Research. New Zealand. *Journal of Atmospheric Sciences*, 52 : 3283-3288.

LINES, I. G., J. H. DAYCOCK & D. M. DEAVES. 2001. Guidelines for the inclusion of low wind speed conditions into risk assessments. *Journal of Hazardous Materials A* 83: 153-179.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). 2002. *IEC 60079-10 - Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Part 10: Classification of hazardous locations*. International Standard. 4^a Ed. 115 pp.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). 2002. *IEC 60079-14 - Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Part 14: Electrical installations in hazardous areas (other than mines)*. International Standard. 3^a Ed. 130 pp.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). 2004. *IEC 60079-0 - Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Part 0: General Requirements*. International Standard. 4^a Ed. 154 pp.

INSTITUTE OF PETROLEUM (IP). 1974. *IP 1 - Electrical Safety Code – Part 1: Model Code of Safe Practice in the Petroleum Industry*. The Institute of Petroleum. Great Britain. 75 pp.

INSTITUTE OF PETROLEUM (IP). 1990. *IP 15 - Area Classification Code for Petroleum Installations – Part 15: Model Code of Safe Practice*. The Institute of Petroleum. Great Britain. 120 pp.

KIELY, G. 2001. *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Coord. de la trad. José Miguel Veza. Mc Graw Hill. Madrid. 1331 pp.

LIQUID GAS EQUIPMENT, Ltd. 1984. *Propriedades dos Gases Técnicos*. Trad. Fátima Ramos Pinto. Morrison & Gibb Ltd. Scotland. 69 pp.

LPGITA – *Liquefied Petroleum Gas Industry Technical Association Codes of practice*. 1974. An introduction to liquefied petroleum gases. LPGITA. U.K.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 2002. *NFPA 69 – Standard on Explosion Prevention Systems* (2002 edition). Massachusetts. 35 pp.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 2000. *NFPA 77 – Recommended Practice on Static Electricity* (2000 edition). Massachusetts. 60 pp.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 1997. *NFPA 79 – Electrical Standard for Industrial machinery* (1997 edition). Massachusetts. 51 pp.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 2001. *LP-Gas Code Handbook*. (6ª edition). Theodore C. Lemoff. Massachusetts. 475 pp.

NATIONAL PROPANE GAS ASSOCIATION. 1988. *General Information Guidebook: LP-Gas Operations and Safety*. National Training Aids and Services. Atlanta. 105 pp.

NILSEN, S. (Hydro), A. ENGEBO (DNV), C. JOLY, J. CHAINEAUX & S. CHELHAOUI (INERIS), I. AZKARATE (INASMET), C. KIRCHENSTEIGER (JRC), A. MARAGON (UNIPI), F. MARKERT (Risø) & M. WARDMAN (HSE/HSL). 2005. *Risk analysis methodology and acceptance criteria*. HySafe. Sixth Framework Programme Network of Excellence. Germany. 24 pp. Disponível em: <http://www.hysafe.org/download/330/D26.pdf>. Último acesso: 13 de Abril de 2006.

Portaria n.º 341/97, de 14 de Abril de 1997. Estabelece regras relativas à segurança e saúde dos aparelhos e sistemas de protecção destinados a ser utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

SOCIEDADE AÇOREANA DE ARMAZENAGEM DE GÁS S. A. (SAAGA). 1989. *SAAGA XX ANOS AO SERVIÇO DOS AÇORES*. SAAGA. Ponta Delgada. 56 pp.

SABERSKY, R. H., A. J. ACOSTA & E. G. HAUPTMANN. 1989. *Fluid Flow. A First Course In Fluid Mechanics*. (3ª edition). Maxwell Macmillan International Editions. New York. 537 pp.

SANTON, R. C., J. W. KIDGER & C. J. LEA. 2002. Safety developments in gas turbine power applications. American Society of Mechanical Engineers Turbo Expo 2002. 7 pp.

STERLING. 2003. Sterling Fluid Systems Pumping Technology CEH-00/2003. 30 pp.

THERMOMETRICS. 2007. Dimensions for class 300 flanges. <http://www.thermometrics.com>. Último acesso em 2007-06-15.

TROUVAY & CAUVIN. 1985. *Petroleum Materials Handbook Piping Equipment Manual*.

UNIÃO INTERNACIONAL DA INDÚSTRIA DO GÁS. 1985. *Dicionário da Indústria do Gás*. Tomo 2. (2ª edição). Vulkan-Verlag. Essen.

Usines de traitement de pétrole brut de ses dérivés et résidus – Aménagement et exploration. 1978. Paris. 111 pp.

U K PETROLEUM INDUSTRY ASSOCIATION LTD. (UKPIA). 2007. Statistical Review 2007. London. 44 pp.

Disponível

em:

http://www.ukpia.com/Portals/O/Repository/Documents/Newsletters/UKpia%2007%20Review_44pp.pdf.

Último acesso: 23 de Julho de 2007.

VYCHNEPOLSKI, I. & V. VYCHNEPOLSKI. 1987. *Desenho de construção mecânica*. Trad. Victor Andreev. Editora MIR. Moscovo. 245 pp.

WALLACE, J. M. & P. V. HOBBS. 1996. *Atmospheric Science. Na Introductory Survey*. Academic Press Limited. Londres. 467 pp.

WEBBER, D. M. PLUMES. Disponível em: http://iehmtu.edata-center.com/toc/chap_p/ch16s151.html.
Último acesso: 13 de Junho de 2006.

WORLD LP GAS ASSOCIATION. 2006. Statistical Review of Global LP Gas. MCH Oil & Gas Consultancy.
World LP Gas Association. France.

ANEXOS

Software em ambiente Matlab, Zonas

Interface do operador - software de simulação Zonas

ATEX - simulação de zonas com atmosfera potencialmente explosiva

File Edit Tools Window Help

Fluido

butano
propano

C_p [J/°C/g] 1.918

m_w [g/mol] 58.12

LEL [%] 1.9

UEL [%] 8.5

☒ Fase Líquida

☐ Fase Gasosa

Equipamento

Equipamento Válvula
Flange

Pressão de libertação [bar] 6

Temperatura [°C] 10

Diâmetro do ponto de fuga [mm] 0.318

Cota do ponto de fuga [m] 0.2

Tipo de fuga ☐ Franca
☐ Média
☒ Pequena

Caracterização do meio

Temperatura ambiente [°C] 20

Velocidade da ventilação [m/s] 2

Classe de estabilidade B
C

☒ Espaço Aberto

☐ Recinto Fechado

Volumetria do espaço [m³] 2

Simulação

☒ Caudal Nova Simulação

☒ Zona ATEX

☒ Zona 0 Concluído

☒ Zona 1

☒ Zona 2

Calcular

Visualizar

Resultados

Caudal [kg/s]: 13.0044

Zona ATEX [m³]: 0.0343824

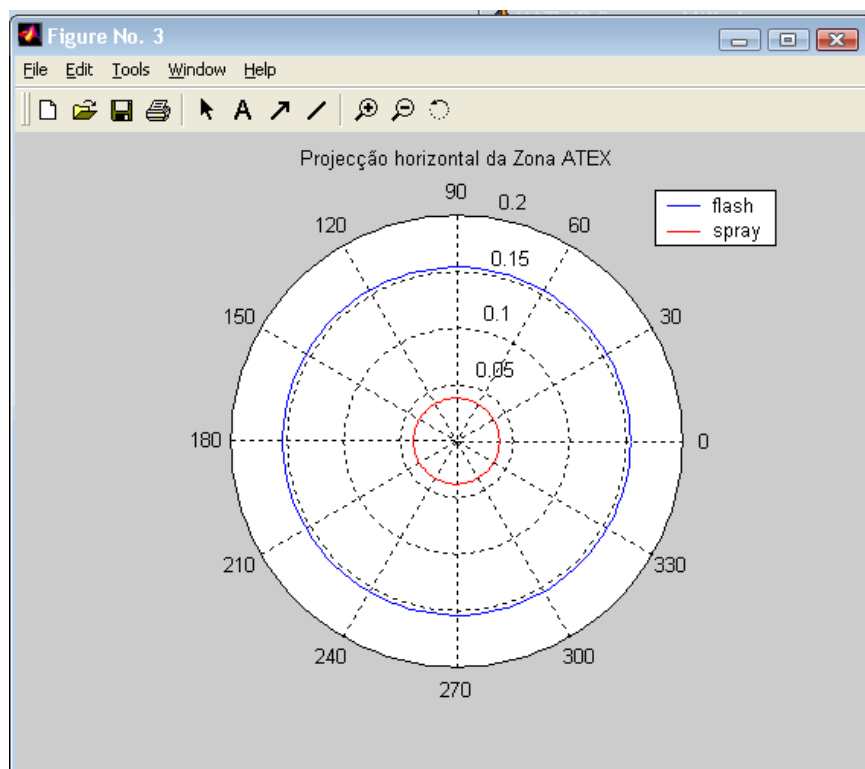
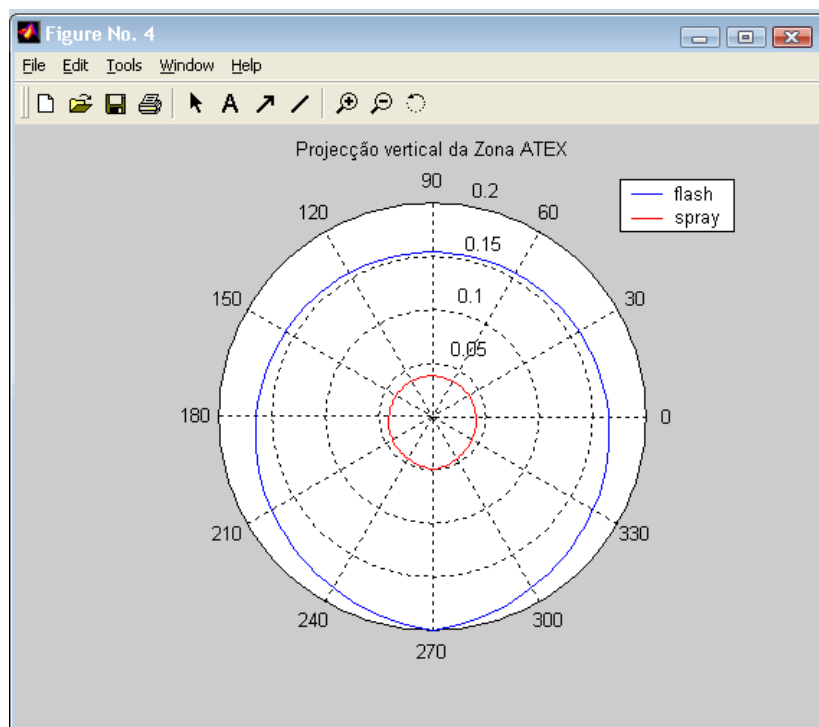
Zona 0 [m³]: --

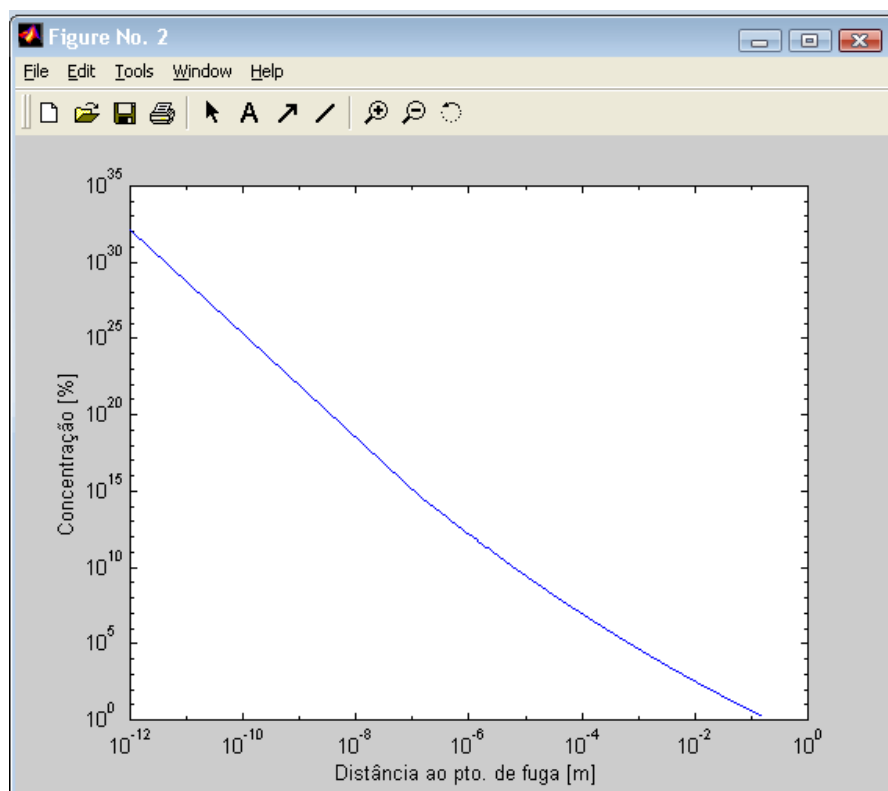
Zona 1 [m³]: --

Zona 2 [m³]: 0.0343824

mfs 2007

Exemplo dos resultados





Listagens do programa

```
function fig = zonas()
% This is the machine-generated representation of a Handle Graphics object
% and its children. Note that handle values may change when these objects
% are re-created. This may cause problems with any callbacks written to
% depend on the value of the handle at the time the object was saved.
% This problem is solved by saving the output as a FIG-file.
%
% To reopen this object, just type the name of the M-file at the MATLAB
% prompt. The M-file and its associated MAT-file must be on your path.
%
% NOTE: certain newer features in MATLAB may not have been saved in this
% M-file due to limitations of this format, which has been superseded by
% FIG-files. Figures which have been annotated using the plot editor tools
% are incompatible with the M-file/MAT-file format, and should be saved as
% FIG-files.

load zonas

h0 = figure('Units','points', ...
    'Color',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'DoubleBuffer','on', ...
    'FileName','C:\MATLABR11\work\zonas.m', ...
    'Name','ATEX - simulação de zonas com atmosfera potencialmente explosiva',
    ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[373.5 224.25 657 501], ...
    'RendererMode','manual', ...
    'ResizeFcn','doresize(gcf)', ...
    'Tag','Fig2', ...
    'ToolBar','none', ...
    'UserData','[ ]', ...
    'DefaultAxesCreateFcn','plotedit(gcf,'promoteoverlay');');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'Tag','ScribeHGBinObject', ...
    'Visible','off');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'Tag','ScribeFigObjStorage', ...
    'Visible','off');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'Tag','ScribeHGBinObject', ...
    'Visible','off');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'Tag','ScribeFigObjStorage', ...
    'Visible','off');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'Tag','ScribeHGBinObject', ...
    'Visible','off');
h1 = uimenu('Parent',h0, ...
    'HandleVisibility','off', ...
    'Tag','ScribeFigObjStorage', ...
    'Visible','off');
```

```
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
    ...
    'FontAngle','italic', ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[486.75 170.25 130.5 317.25], ...
    'String','Resultados', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','Frame1', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
    ...
    'FontAngle','italic', ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[18.75 74.25 188.25 170.25], ...
    'String','Caracterização do meio', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','Frame1', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
    ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[31.5 205.5 120 19.5], ...
    'String','Temperatura ambiente [°C]', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','tal');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
    ...
    'FontAngle','italic', ...
    'FontWeight','demi', ...
    'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[224.25 262.5 243 224.25], ...
    'String','Equipamento', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','Frame1', ...
    'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
    ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[243.75 368.25 154.5 14.25], ...
    'String','Diâmetro do ponto de fuga [mm]', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','dsl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
    ...
```



```
'FontAngle','italic', ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[18.75 261 188.25 225.75], ...
'String','Fluido', ...
'Style','edit', ...
'Tag','Frame1', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[37.5 343.5 132 18], ...
'String','UEL [%]', ...
'Style','text', ...
'Tag','uell');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 366 132 18], ...
'String','LEL [%]', ...
'Style','text', ...
'Tag','lell');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[37.5 389.25 132 18], ...
'String','mw [g/mol]', ...
'Style','text', ...
'Tag','mwl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'FontAngle','italic', ...
'FontWeight','demi', ...
'ForegroundColor',[0 0 0.501960784313725], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[225 74.25 244.5 169.5], ...
'String','Simulação', ...
'Style','edit', ...
'Tag','Frame1', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588],
...
'ForegroundColor',[1 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[357.75 168 63.75 18.75], ...
'String','Concluído', ...
'Style','text', ...
'Tag','result');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
```

```
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[402 365.25 47.25 18], ...
'String','0.318', ...
'Style','edit', ...
'Tag','ds');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[114 448.5 73.5 18], ...
'String','C4H10', ...
'Style','text', ...
'Tag','fq');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[141 343.5 47.25 18], ...
'String','8.5', ...
'Style','text', ...
'Tag','uel');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[141 366 47.25 18], ...
'String','1.9', ...
'Style','text', ...
'Tag','lel');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[141 389.25 47.25 18], ...
'String','58.12', ...
'Style','text', ...
'Tag','mw');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[37.5 412.5 132 18], ...
'String','Cp [J/°C/g]', ...
'Style','text', ...
'Tag','cpl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[141 412.5 47.25 18], ...
'String','1.918', ...
'Style','text', ...
'Tag','Cp');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[402.75 412.5 46.5 18.75], ...
'String','6', ...
```

```
'Style','edit', ...
'Tag','Ps');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[245.25 411 111 19.5], ...
'String','Pressão de libertação [bar]', ...
'Style','text', ...
'Tag','Psl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'FontName','Arial Narrow', ...
'FontSize',10, ...
'FontWeight','bold', ...
'Position',[375.75 440.25 74.25 27], ...
'String',mat1, ...
'Style','listbox', ...
'Tag','equipamento', ...
'Value',3);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[148.5 206.25 42 18.75], ...
'String','20', ...
'Style','edit', ...
'Tag','Ta');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'Callback',mat2, ...
'ListboxTop',2, ...
'Position',[161.25 150 28.5 25.5], ...
'String',mat3, ...
'Style','listbox', ...
'Tag','Cl_estab', ...
'UserData','[ 12]', ...
'Value',4);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'Max',4, ...
'Position',[37.5 436.5 63 31.5], ...
'String',mat4, ...
'Style','listbox', ...
'Tag','fluido', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[401.25 342.75 47.25 18], ...
'String','0.2', ...
'Style','edit', ...
'Tag','h');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
```

```
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'Callback','graf1', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[355.5 92.25 75 19.5], ...
'String','Visualizar', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'Callback','z_atex', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[355.5 130.5 74.25 19.5], ...
'String','Calcular', ...
'Tag','Pushbutton1', ...
'UserData','[ ]');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[33.75 164.25 96.75 12.75], ...
'String','Classe de estabilidade', ...
'Style','text', ...
'Tag','ad', ...
'UserData','[ ]');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[244.5 342 111 19.5], ...
'String','Cota do ponto de fuga [m]', ...
'Style','text', ...
'Tag','ac');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[33 183 119.25 18], ...
'String','Velocidade da ventilação [m/s]', ...
'Style','text', ...
'Tag','ab');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.925490196078431 0.913725490196078 0.847058823529412],
...
'Callback','inicio', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[356.25 207.75 74.25 18.75], ...
'String','Nova Simulação', ...
'Tag','limpa');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
```

```
'Position',[244.5 449.25 111 19.5], ...
'String','Equipamento', ...
'Style','text', ...
'Tag','eq1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[244.5 386.25 111 19.5], ...
'String','Temperatura [°C]', ...
'Style','text', ...
'Tag','Tsl');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[402.75 388.5 46.5 18.75], ...
'String','10', ...
'Style','edit', ...
'Tag','Ts');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[37.5 318.75 93.75 17.25], ...
'String','Fase Líquida', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','FL');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[37.5 297.75 93.75 17.25], ...
'String','Fase Gasosa', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','FG', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[149.25 183 42 18], ...
'String','2', ...
'Style','edit', ...
'Tag','u_ref');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[37.5 114.75 93.75 17.25], ...
'String','Recinto Fechado', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','in');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
```

```
'Position',[37.5 134.25 93.75 17.25], ...
'String','Espaço Aberto', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','out', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[243.75 208.5 93.75 17.25], ...
'String','Caudal', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','za', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[245.25 135 93.75 17.25], ...
'String','Zona 2', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','ze', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[244.5 191.25 93.75 17.25], ...
'String','Zona ATEX', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','zb', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[245.25 154.5 93.75 17.25], ...
'String','Zona 1', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','zd', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[245.25 173.25 93.75 17.25], ...
'String','Zona 0', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','zc', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[248.25 315 111 19.5], ...
'String','Tipo de fuga', ...
```

```
'Style','text', ...
'Tag','ac');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[373.5 318.75 68.25 17.25], ...
'String','Franca', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','fuga_f');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[373.5 300 68.25 17.25], ...
'String','Média', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','fuga_m');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[374.25 281.25 66.75 17.25], ...
'String','Pequena', ...
'Style','checkbox', ...
'Tag','fuga_p', ...
'Value',1);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[150 96.75 42 18], ...
'String','2', ...
'Style','edit', ...
'Tag','volume');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[33 95.25 113.25 18], ...
'String','Volumetria do espaço [m3]', ...
'Style','text', ...
'Tag','ab');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[505.5 430.5 94.5 19.5], ...
'String','Caudal [kg/s]:', ...
'Style','text', ...
'Tag','rza');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
```

```
'ListboxTop',0, ...
'Position',[505.5 373.5 92.25 19.5], ...
'String','Zona ATEX [m3]:', ...
'Style','text', ...
'Tag','rzb');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[505.5 317.25 91.5 19.5], ...
'String','Zona 0 [m3]:', ...
'Style','text', ...
'Tag','rzc');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[505.5 258 93 22.5], ...
'String','Zona 1 [m3]:', ...
'Style','text', ...
'Tag','rzd');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.831372549019608 0.815686274509804 0.784313725490196],
...
'HorizontalAlignment','left', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[505.5 205.5 93.75 19.5], ...
'String','Zona 2 [m3]:', ...
'Style','text', ...
'Tag','rze');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588],
...
'ForegroundColor',[1 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[534.75 410.25 63.75 18.75], ...
'String','Concluído', ...
'Style','text', ...
'Tag','resulta');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588],
...
'ForegroundColor',[1 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[533.25 353.25 63.75 18.75], ...
'String','Concluído', ...
'Style','text', ...
'Tag','resultb');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588],
...
'ForegroundColor',[1 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[534.75 297.75 63.75 18.75], ...
'String','Concluído', ...
```



```
'Style','text', ...
'Tag','resultc');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588],
...
'ForegroundColor',[1 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[534.75 237 63.75 18.75], ...
'String','Concluído', ...
'Style','text', ...
'Tag','resultd');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.752941176470588 0.752941176470588 0.752941176470588],
...
'ForegroundColor',[1 0 0], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[535.5 186 63.75 18.75], ...
'String','Concluído', ...
'Style','text', ...
'Tag','resulte');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.780392156862745 0.780392156862745 0.780392156862745],
...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[524.25 22.5 91.5 12], ...
'String','mfs 2007', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = axes('Parent',h0, ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color','none', ...
'ColorOrder',mat5, ...
'CreateFcn','', ...
'HandleVisibility','off', ...
'HitTest','off', ...
'Position',[-0.3847031963470319 -0.2245508982035928 1 1], ...
'Tag','ScribeOverlayAxesActive', ...
'Visible','off', ...
'XColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'XLimMode','manual', ...
'XTickMode','manual', ...
'YColor',[0.8 0.8 0.8], ...
'YLimMode','manual', ...
'YTickMode','manual', ...
'ZColor',[0 0 0]);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0.8 0.8 0.8], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[0.4994285714285715 -0.01199400299850084 9.160254037844386], ...
'VerticalAlignment','cap', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0.8 0.8 0.8], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[-0.006857142857142839 0.497751124437781 9.160254037844386], ...
'Rotation',90, ...
```

```
        'VerticalAlignment','baseline', ...
        'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
        'Color',[0 0 0], ...
        'HandleVisibility','off', ...
        'HorizontalAlignment','right', ...
        'Position',[0.3840000000000001 1.223388305847076 9.160254037844386], ...
        'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
        'Color',[0 0 0], ...
        'HandleVisibility','off', ...
        'HorizontalAlignment','center', ...
        'Position',[0.4994285714285715 1.010494752623688 9.160254037844386], ...
        'VerticalAlignment','bottom', ...
        'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
if nargin > 0, fig = h0; end
```

```
%-----
%Z_ATEX  Rotina de cálculo para atmosferas potencialmente explosivas
%
%M. F. Sousa - Ago 2007
%-----

%-----
% FASE 1 - quadro 'fluido'
%-----

fluido;

%-----
% FASE 2 - quadro 'equipamento'
%-----

HH=findobj(gcf,'Tag','h');           % carrega cota pto. libertação
h=str2num(get(HH,'String'));
HH=findobj(gcf,'Tag','Ps');          % carrega pressão de saída
Ps=str2num(get(HH,'String'));
HH=findobj(gcf,'Tag','Ts');          % carrega temperatura
Ts=str2num(get(HH,'String'));
HH=findobj(gcf,'Tag','ds');          % carrega diâmetro ponto de fuga
ds=str2num(get(HH,'String'));

%-----
% FASE 3 - Caracterização do meio envolvente
%-----

HH=findobj(gcf,'Tag','u_ref');       % carrega velocidade do vento
u_ref=str2num(get(HH,'String'));

%HH=findobj(gcf,'Tag','h_ref');       % carrega ponto de referencia para vel.
vento
%h_ref=str2num(get(HH,'String'));

HH=findobj(gcf,'Tag','Ta');           % carrega temperatura ambiente
Ta=str2num(get(HH,'String'));

HH=findobj(gcf,'Tag','Cl_estab');     % carrega classe de estabilidade
stability=get(HH,'Value');

HH=findobj(gcf,'Tag','in');           % define indoor ou outdoor
if (get(HH,'Value') == 0)
    set(HH,'Value', 0);

    HH=findobj(gcf,'Tag','out');
    if (get(HH,'Value') == 0)
        set(HH,'Value', 0);
        warning('Atenção à definição do espaço: recinto fechado ou espaço
aberto')
    else
        set(HH,'Value', 1);
        space=1;           %outdoor
    end
end
```

```
else
    set(HH, 'Value', 1);
    space=2; %indoor
    HH=findobj(gcf, 'Tag', 'volume'); % volume do espaço, se indoor
    volume=get(HH, 'Value');

end

%-----
% FASE 4 - Simulação
%-----

Pa=101.3*1e3; % Pa; Pa=N/m2
Ps=Pa+Ps*1e5; % Pa
R=8.3144;
g=9.8;
roL=mw*10;
Ts=Ts+273.15;
Ta=Ta+273.15;
Tb=Tb+273.15;
Vesp_ar=0.814; %[m3/kg]
alpha=pi/6;

HH=findobj(gcf, 'Tag', 'resulta');
set(HH, 'String', '')
HH=findobj(gcf, 'Tag', 'resultb');
set(HH, 'String', '')
HH=findobj(gcf, 'Tag', 'resultc');
set(HH, 'String', '')
HH=findobj(gcf, 'Tag', 'resultd');
set(HH, 'String', '')
HH=findobj(gcf, 'Tag', 'resulte');
set(HH, 'String', '')

% Classes de estabilidade Pasquill-Gifford
switch(stability)

    case 1 % 'A'
        a_y=5.357;
        b_y=0.8828;
        c_y=-0.0076;

        a_z=6.035;
        b_z=2.1097;
        c_z=0.2770;

        estab='A';

    case 2 % 'B'
        a_y=5.058;
        b_y=0.9024;
        c_y=-0.0096;

        a_z=4.694;
        b_z=1.0629;
        c_z=0.0136;

        estab='B';

    case 3 % 'C'
        a_y=4.651;
```

```
        b_y=0.9181;
        c_y=-0.0076;

        a_z=4.110;
        b_z=0.9201;
        c_z=-0.0020;

        estab='C';

    case 4                                % 'D'
        a_y=4.230;
        b_y=0.9222;
        c_y=-0.0087;

        a_z=3.414;
        b_z=0.7371;
        c_z=-0.0316;

        estab='D';

    case 5                                % 'E'
        a_y=3.922;
        b_y=0.9222;
        c_y=-0.0064;

        a_z=3.057;
        b_z=0.6794;
        c_z=-0.0450;

        estab='E';

    case 6                                % 'F'
        a_y=3.533;
        b_y=0.9181;
        c_y=-0.0070;

        a_z=2.621;
        b_z=0.6564;
        c_z=-0.0540;

        estab='F';

    otherwise
        error('Classe de estabilidade desconhecida');
end

HH=findobj(gcf,'Tag','equipamento');    % selecção do equipamento
eqp=get(HH,'Value');

HH=findobj(gcf,'Tag','FL');               % define fase
FL=get(HH,'Value');

HH=findobj(gcf,'Tag','FG');
FG=get(HH,'Value');

if and(FL==1,FG==0)
    fase=1;
elseif and(FL==0,FG==1)
    fase=2;
else
    HH=findobj(gcf,'Tag','result');
    set(HH,'String','Erro')
```

```
error('Defina a Fase do fluido e reinicie a simulação.')
end

switch(eqp)

case 1          %bomba
gpl=====

disp('*** Bomba de GPL:')
if fase == 2
    HH=findobj(gcf,'Tag','result');
    set(HH,'String','Erro')
    error('Este equipamento não admite produto em Fase Gasosa.')
end

    Cd=0.62;                                % coeficiente de descarga p orifícios
    %Tr=Ts/Tc;                                %temperatura reduzida
    %res=1.45+0.45*((1-Tr)^(-1))+0.25*omega*(17.11+25.2*((1-Tr)^(1/3))*(Tr^(-
1))+1.742*((1-Tr)^(-1)));
    %Cp0=Cp-res*R                            % correcção para a temperatura do líquido

    CpL=Cp;
    G=Cd*(2*roL*(Ps-Pa))^(1/2);                % calculo caudal "liquido" por un. area
[kg/m2.s]
    flash=CpL*(Ts-Tb)/Hv;                      % quantidade q "flash", ie, passa a FG
    Gg=G*flash;

    area=pi*(ds^2)/4;                          %área do pto de fuga

    HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_f');              % define tipo fuga
    f_f=get(HH,'Value');
    HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_m');
    f_m=get(HH,'Value');
    HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_p');
    f_p=get(HH,'Value');

    if f_f==1
        area=1*area;
        freq=3e-5;
    elseif f_m==1
        area=0.1*area;
        freq=3e-4;
    elseif f_p==1
        area=0.01*area;
        freq=3e-3;
    else
        HH=findobj(gcf,'Tag','result');
        set(HH,'String','Erro')
        error('Defina o tipo de fuga e reinicie a simulação.')
    end

    Qg=Gg*area;                                %caudal em kg/s

    spray=1-flash;                             % quantidade q spray
    Gl=G*spray;
    vl=Gl/roL;                                % velocidade do líquido à saída

    xl=((vl^2)*sin(2*alpha))/(4*g);             % distância de projecção do spray

    Ql=Gl*area;
```

```
for xx=1e-12:1e-3:50,
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
    CCg=Qg./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
    ccg=CCg*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
    if ccg<=LEL
        break
    end
end
xxg=xx
ccg
for xx=1e-12:1e-3:50,
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
    CCl=Ql./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
    ccl=CCl*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
    if ccl<=LEL
        break
    end
end
xxl=xx
ccl

disp('valor apurado')

x=linspace(1e-12,xxl,1e6);
sigma_y=exp(a_y+b_y*log(x)+c_y*(log(x)).^2);
sigma_z=exp(a_z+b_z*log(x)+c_z*(log(x)).^2);

Cg=Qg./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);           %pluma da FG-concentração em
[kg/m3]
cg=Cg*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);         %concentração em [%]

Cl=Ql./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
cl=Cl*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
disp('intervalo ok')

caudal=Qg+Ql;
volume=pi*(h+xxl)^2*(xxl-h/3);

case 2      % compressor de
gpl=====

disp('*** Compressor de GPL:')

if fase == 1
    HH=findobj(gcf,'Tag','result');
    set(HH,'String','Erro')
    error('Este equipamento não admite produto em Fase Líquida.')
end

Cd=0.62;
Cpg=A+B*Ts+C*Ts^2+D*Ts^3;
gama=Cpg/(Cpg-R);
k=gama;
```

```

niu=(2/(k+1))^(k/(k-1));

area=pi*(ds^2)/4; %área do pto de fuga

HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_f'); % define tipo fuga
f_f=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_m');
f_m=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_p');
f_p=get(HH,'Value');

if f_f==1
    area=1*area;
    freq=3e-5;
elseif f_m==1
    area=0.1*area;
    freq=3e-4;
elseif f_p==1
    area=0.01*area;
    freq=3e-3;
else
    HH=findobj(gcf,'Tag','result');
    set(HH,'String','Erro')
    error('Defina o tipo de fuga e reinicie a simulação.')
end

if Pa/Ps>=niu %escoamento supersônico
    disp('escoamento supersônico')
    G=Cd*((Ps*k*(2/(k+1))^(k/(k-1)))/Vesp)^(1/2) % caudal [kg/m2.s]

else %escoamento subsônico
    disp('escoamento subsônico')
    G=(Cd/Vesp_ar)*(2*Ps*Vesp*(k/(k-1))*(1-(Pa/Ps)^((k-1)/k)))^(1/2);

end

Q=G*area; %caudal em kg/s

for xx=1e-12:1e-3:50,
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
    CC=Q./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
    cc=CC*1e2*(273.15+Ta)/(12.187/(10*Vesp));
    if cc<=LEL
        break
    end
end
xxg=xx
xxl=0;
cc
cl=0;
disp('valor apurado')

x=linspace(1e-12,xx,1e6);
sigma_y=exp(a_y+b_y*log(x)+c_y*(log(x)).^2);
sigma_z=exp(a_z+b_z*log(x)+c_z*(log(x)).^2);

CC=Q./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref); %pluma da FG-concentração em
[kg/m3]
cc=CC*1e2*(273.15+Ta)/(12.187/(10*Vesp)); %concentração em [%]

```



```
disp('intervalo ok')

caudal=Q;
volume=pi*(h+xx)^2*(xx-h/3);

case 3      % válvula de gpl=====

Cd=0.62;

area=pi*(ds^2)/4;          %área do pto de fuga

HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_f');          % define tipo fuga
f_f=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_m');
f_m=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_p');
f_p=get(HH,'Value');

if f_f==1
    area=1*area;
    freq=1e-5;
elseif f_m==1
    area=0.1*area;
    freq=1e-4;
elseif f_p==1
    area=0.01*area;
    freq=1e-3;
else
    HH=findobj(gcf,'Tag','result');
    set(HH,'String','Erro')
    error('Defina o tipo de fuga e reinicie a simulação.')
end

if fase == 1          % Válvula em linha de Líquido
    disp('*** Válvula instalada no circuito de Fase Líquida:')

    CpL=Cp

    G=Cd*(2*roL*(Ps-Pa))^(1/2);          % calculo caudal "liquido" por un.
area [kg/m2.s]
    flash=CpL*(Ts-Tb)/Hv;          % quantidade q "flash", ie, passa a
FG
    Gg=G*flash;
    Qg=Gg*area;          %caudal em kg/s

    spray=1-flash;          % quantidade q spray
    Gl=G*spray;
    vl=Gl/roL;          % velocidade do líquido à saída

    xl=((vl^2)*sin(2*alpha))/(4*g);          % distância de projecção do spray

    Ql=Gl*area;

    for xx=1e-12:1e-3:50,
        sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
        sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
        CCg=Qg/(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
        ccg=CCg*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
        if ccg<=LEL
            break
        end
    end
end
```

```

        end
    end
    xcg=xx
    ccg
    for xx=1e-12:1e-3:50,
        sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
        sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
        CCl=Ql./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
        ccl=CCl*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
        if ccl<=LEL
            break
        end
    end
    xxl=xx
    ccl

disp('valor apurado')

x=linspace(1e-12,xxl,1e6);
sigma_y=exp(a_y+b_y*log(x)+c_y*(log(x)).^2);
sigma_z=exp(a_z+b_z*log(x)+c_z*(log(x)).^2);

[kg/m3] Cg=Qg./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);           %pluma da FG-concentração em
cg=Cg*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);           %concentração em [%]

Cl=Ql./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
cl=Cl*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
disp('intervalo ok')

caudal=Qg+Ql;
volume=pi*(h+xxl)^2*(xxl-h/3);

else                                     %Válvula em linha de Gás
    disp('*** Válvula instalada no circuito de Fase Gasosa:')

    Cpg=A+B*Ts+C*Ts^2+D*Ts^3;
    gama=Cpg/(Cpg-R);
    k=gama;
    niu=(2/(k+1))^(k/(k-1));

    if Pa/Ps>=niu           %escoamento supersônico
        disp('escoamento supersônico')
        G=Cd*((Ps*k*(2/(k+1))^(k/(k-1)))/Vesp)^(1/2)   % caudal
[kg/m2.s]
    else %escoamento subsônico
        disp('escoamento subsônico')
        G=(Cd/Vesp_ar)*(2*Ps*Vesp*(k/(k-1))*(1-(Pa/Ps)^((k-1)/k)))^(1/2);
    end

    Q=G*area;                                     %caudal em kg/s

    for xx=1e-12:1e-3:50,
        sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
        sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
        CC=Q./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
        cc=CC*1e2*(273.15+Ta)/(12.187/(10*Vesp));
        if cc<=LEL
            break

```

```

        end
    end
    xxg=xx
    xxl=0;
    cc

    disp('valor apurado')

    x=linspace(1e-12,xx,1e6);
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(x)+c_y*(log(x)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(x)+c_z*(log(x)).^2);

    CC=Q./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);           %pluma da FG-concentração em
[kg/m3]
    cc=CC*1e2*(273.15+Ta)/(12.187/(10*Vesp));      %concentração em [%]

    disp('intervalo ok')

    caudal=Qg;
    volume=pi*(h+xx)^2*(xx-h/3);

end

case 4      % flange=====

    Cd=0.62;

    area=pi*(ds^2)/4;           %área do pto de fuga

    HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_f');           % define tipo fuga
    f_f=get(HH,'Value');
    HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_m');
    f_m=get(HH,'Value');
    HH=findobj(gcf,'Tag','fuga_p');
    f_p=get(HH,'Value');

    if f_f==1
        area=1*area;
        freq=1e-4;
    elseif f_p==1
        area=0.01*area;
        freq=1e-3;
    else
        HH=findobj(gcf,'Tag','result');
        set(HH,'String','Erro')
        error('Defina o tipo de fuga e reinicie a simulação.')
    end

    if fase == 1                % Válvula em linha de Líquido
        disp('*** Ligação flangeada de uma linha de Fase Líquida:')

        CpL=Cp

        G=Cd*(2*roL*(Ps-Pa))^(1/2);           % calculo caudal "liquido" por un.
area [kg/m2.s]
        flash=CpL*(Ts-Tb)/Hv;                 % quantidade q "flash", ie, passa a
FG
        Gg=G*flash;
        Qg=Gg*area;                           %caudal em kg/s

        spray=1-flash;                         % quantidade q spray

```

```

G1=G*spray;
vl=G1/roL; % velocidade do líquido à saída

xl=((vl^2)*sin(2*alpha))/(4*g); % distância de projecção do spray

Q1=G1*area;

for xx=1e-12:1e-3:50,
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
    CCg=Qg./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
    ccg=CCg*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
    if ccg<=LEL
        break
    end
end
xxg=xx
ccg

for xx=1e-12:1e-3:50,
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
    CCl=Q1./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
    ccl=CCl*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
    if ccl<=LEL
        break
    end
end
xxl=xx
ccl

disp('valor apurado')

x=linspace(1e-12,xxl,1e6);
sigma_y=exp(a_y+b_y*log(x)+c_y*(log(x)).^2);
sigma_z=exp(a_z+b_z*log(x)+c_z*(log(x)).^2);

[kg/m3] Cg=Qg./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref); %pluma da FG-concentração em
cg=Cg*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10); %concentração em [%]

Cl=Q1./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
cl=Cl*1e2*(273.15+Ta)/(12.187*roL/10);
disp('intervalo ok')

caudal=Qg+Q1;
volume=pi*(h+xxl)^2*(xxl-h/3);

else %Válvula em linha de Gás
disp('*** Ligação flangeada de uma linha de Fase Gasosa:')

Cpg=A+B*Ts+C*Ts^2+D*Ts^3;
gama=Cpg/(Cpg-R);
k=gama;
niu=(2/(k+1))^(k/(k-1));

if Pa/Ps>=niu %escoamento supersónico
disp('escoamento supersónico')
G=Cd*((Ps*k*(2/(k+1))^(k/(k+1)))/Vesp)^(1/2) % caudal
[kg/m2.s]

```

```

else %escoamento subsônico
    disp('escoamento subsônico')
    G=(Cd/Vesp_ar)*(2*Ps*Vesp*(k/(k-1))*(1-(Pa/Ps)^((k-1)/k)))^(1/2);
end

Q=G*area; %caudal em kg/s

for xx=1e-12:1e-3:50,
    sigma_y=exp(a_y+b_y*log(xx)+c_y*(log(xx)).^2);
    sigma_z=exp(a_z+b_z*log(xx)+c_z*(log(xx)).^2);
    CC=Q./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref);
    cc=CC*1e2*(273.15+Ta)/(12.187/(10*Vesp));
    if cc<=LEL
        break
    end
end
xxg=xx
xxl=0;
cc

disp('valor apurado')

x=linspace(1e-12,xx,1e6);
sigma_y=exp(a_y+b_y*log(x)+c_y*(log(x)).^2);
sigma_z=exp(a_z+b_z*log(x)+c_z*(log(x)).^2);

[kg/m3] CC=Q./(pi.*sigma_y.*sigma_z.*u_ref); %pluma da FG-concentração em
cc=CC*1e2*(273.15+Ta)/(12.187/(10*Vesp)); %concentração em [%]

disp('intervalo ok')

caudal=Qg;
volume=pi*(h+xx)^2*(xx-h/3);

end

otherwise
    warning('Equipamento não definido!')

    HH=findobj(gcf,'Tag','Q'); % carga caudal
    Q=str2num(get(HH,'String'));
    HH=findobj(gcf,'Tag','h'); % carga altura libertação
    h=str2num(get(HH,'String'));
    HH=findobj(gcf,'Tag','Ps'); % carga pressão de saída
    Ps=str2num(get(HH,'String'));
    HH=findobj(gcf,'Tag','vs'); % carga velocidade de libertação
    vs=str2num(get(HH,'String'));
    HH=findobj(gcf,'Tag','vt'); % mostra velocidade terminal
    set(HH,'String',num2str(vt)); % dependente do fluído em causa
    HH=findobj(gcf,'Tag','ds'); % carga diâmetro ponto de fuga
    ds=str2num(get(HH,'String'));

end

```

```
% fim simulação-----
if freq>1e-1
    zona0=volume;
    zona1='--';
    zona2='--';
elseif freq>1e-3
    zona1=volume;
    zona0='--';
    zona2='--';
else freq>1e-5
    zona2=volume;
    zona0='--';
    zona1='--';
end

HH=findobj(gcf,'Tag','za');
za=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','zb');
zb=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','zc');
zc=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','zd');
zd=get(HH,'Value');
HH=findobj(gcf,'Tag','ze');
ze=get(HH,'Value');

if za==1
    HH=findobj(gcf,'Tag','resulta');
    set(HH,'String',caudal);
end
if zb==1
    HH=findobj(gcf,'Tag','resultb');
    set(HH,'String',volume);
end
if zc==1
    HH=findobj(gcf,'Tag','resultc');
    set(HH,'String',zona0);
end
if zd==1
    HH=findobj(gcf,'Tag','resultd');
    set(HH,'String',zona1);
end
if ze==1
    HH=findobj(gcf,'Tag','resulte');
    set(HH,'String',zona2);
end

HH=findobj(gcf,'Tag','result');
set(HH,'String','Concluído')
```